

**POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN NILAI *GROUND SHEAR STRAIN*  
(GSS) DI KECAMATAN PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO  
KABUPATEN KLATEN JAWA TENGAH**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memeperoleh Gelar  
Sarjana Sains**

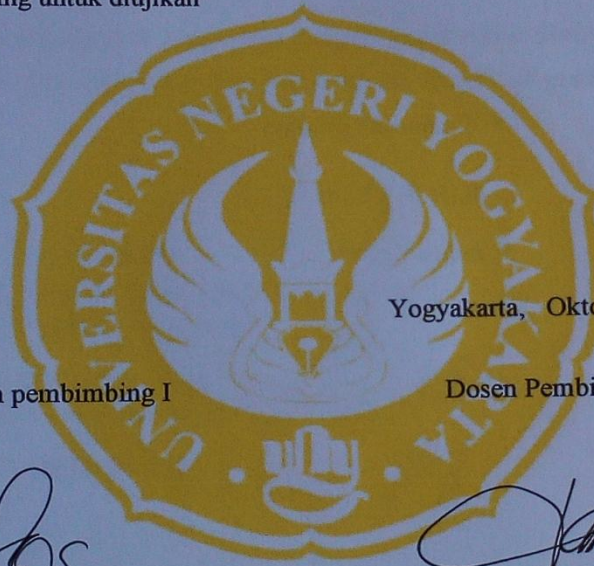


**Oleh:  
YULISTIANI  
NIM. 13306141010**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2017**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah” yang disusun oleh Yulistiani, NIM. 13306141010 ini telah disetujui pembimbing untuk diujikan



Yogyakarta, Oktober 2017

Dosen pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Nugroho Budi Wibowo, M.Si  
NIP. 19840223 20081 1 011

Denny Darmawan, M.Sc  
NIP. 19791202 200312 1 002



## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

**Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah**

Disusun oleh:

Yulistiani

NIM 13306141010

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta  
pada 16 Oktober 2017

### TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Nugroho Budi Wibowo, M.Si</u> Ketua Penguji/Pembimbing I		20 Oktober 2017
<u>Denny Darmawan, M.Sc</u> Sekretaris /Pembimbing II		20 Oktober 2017
<u>Sumarna, M.Si, M.Eng</u> Penguji		19 Oktober 2017

Yogyakarta 23 Oktober 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta



Dekan

Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yulistiani

NIM : 13306141010

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul skripsi : Potensi Likuifaksi Berdasarkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah.

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar penelitian dan karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, Oktober 2017

Yang menyatakan

Yulistiani

NIM. 13306141010

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Dengan izin-Nya kupersembahkan karya ini untuk:

Kedua orang tuaku atas semua doa, kasih sayang dan dukungan dalam setiap keputusan yang kuambil.

Untuk diriku sendiri yang telah berjuang dari awal hingga akhir dalam menyelesaikan skripsi ini.

## **MOTTO**

*“Optimis dan realistis”*

## KATA PENGANTAR

Assalamua'laikum Wr. Wb,

Puji syukur kehadiran Alloh SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi dengan judul “Potensi Likuifaksi Berdasarkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah” untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains dalam program studi Fisika dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
3. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si dan Bapak Denny Darmawan, M.Sc selaku pembimbing yang telah memberikan arahan, waktu, bimbingan serta motivasi sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik.
4. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
5. Semua staf dan laboran Jurusan Fisika FMIPA UNY yang selalu membantu dan menyediakan fasilitas.
6. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian.
7. Orang tua tercinta (Herman dan Iis Rosmiati) yang tak pernah lelah memberikan semangat, doa dan dukungan sampai akhir.
8. “Hamba Allah” yang memberikan semangat dan seperti alarm yang selalu berdering.

9. Sahabat tercinta CII (Adetia Lita Agustina Harahap, Dea Sakinah Hulfa, Iin Astari Nugrahini, Kharizaa Nurul Maslikah dan Siti Patimah) yang selalu ada dan saling memotivasi satu sama lain. Sukses buat kita semua. Amiin.
10. Teman-teman fisika B 2013 yang selalu ikhlas untuk berbagi dalam segala hal, menjadi keluarga baru selama kurang lebih empat tahun ini dan memberikan kenangan yang tak terlupakan.
11. Teman-teman seperjuangan (Khariza Nurul Maslikah, Siti Patimah dan Zahroh Utami, Gina Adilla dan Rini Anggita) yang memberikan semangat, motivasi dan sama-sama berjuang dari survei, ambil data, analisis, hingga tahap revisi. Terimakasih telah jadi tim yang luar biasa.
12. Kakak-kakak baik (Mbak Yustina Dewi, Mbak Meita, Mbak Yuni, Mbak Rifka dan Mas Kholis) yang telah menyempatkan waktu untuk berbagi ilmu meskipun sudah memiliki kesibukan masing-masing.
13. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan tugas akhir baik langsung maupun tidak langsung.

Tak ada kata lain yang dapat penulis ucapkan selain kata terima kasih semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis senantiasa mendapatkan balasan dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini yang masih sangat jauh dari kata sempurna, maka dari itu sangat diperlukan saran dan kritik untuk memperbaiki tugas akhir ini. Semoga karya ini memberikan manfaat bagi masyarakat dan ilmu pengetahuan. Amiin.

Wassalamua'laikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Oktober 2017

Yang menyatakan

Yulistiani

NIM. 13306141010



**Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan  
Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah**

Oleh:

Yulistiani

13306141010

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang potensi likuifaksi berdasarkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dan mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan nilai GSS yang diperoleh.

Data mikrotremor diambil di 30 titik pengukuran dengan jarak antar titik 2 km. Data mikrotremor dianalisis dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk memperoleh nilai amplifikasi dominan dan nilai frekuensi dominan. Data hasil pengolahan mikrotremor digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik dan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA). Nilai PGA ditentukan dengan metode Kanai, dengan parameter gempa berasal dari data gempabumi 27 Mei 2006. Nilai indeks kerentanan seismik dan nilai percepatan getaran tanah maksimum digunakan untuk menentukan nilai GSS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berkisar  $0,01 \times 10^{-2}$  –  $0,24 \times 10^{-2}$ . Potensi likuifaksi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno relatif rendah dan hanya terjadi di beberapa titik penelitian di antaranya di Desa Bugisan, Desa Sawit dan Desa Jabung dengan nilai GSS pada masing-masing daerah  $0,21 \times 10^{-2}$ ,  $0,24 \times 10^{-2}$  dan  $0,21 \times 10^{-2}$ .

Kata Kunci: *Ground Shear Strain*, likuifaksi, mikrotremor.

***Liquefaction Potential Based on Ground Shear Strain (GSS) Value in Prambanan Subdistrict and Gantiwarno Subdistrict of Klaten Regency Central Java.***

By:

Yulistiani

13306141010

**ABSTRACT**

Research of Liquefaction potential based on Ground Shear Strain (GSS) value in Prambanan subdistrict and Gantiwarno subdistrict of Klaten Regency Central Java had been conducted. The aims of this research were to determine GSS value and determine liquefaction potential based on its value in Prambanan Subdistrict and Gantiwarno Subdistrict.

Microtremor data were measured from 30 locations with distance interval of 2 kilometers for each. Microtremor data were analyzed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to get amplification factor and predominant frequency. The results were used to determine the seismic vulnerability index and peak ground acceleration (PGA). Peak Ground Acceleration value was determined using Kanai method, with earthquake parameter data was taken from May, 27<sup>th</sup> 2006 event. Seismic vulnerability index value and peak ground acceleration value were used to determine the GSS value.

The result of this research shows that GSS value in Prambanan Subdistrict and Gantiwarno Subdistrict are about  $0.01 \times 10^{-2}$  -  $0.24 \times 10^{-2}$ . Liquefaction potential in Prambanan Subdistrict and Gantiwarno Subdistrict are relatively low and only occur at some locations in the research area including Bugisan village, Sawit village and Jabung village with GSS of  $0.21 \times 10^{-2}$ ,  $0.24 \times 10^{-2}$  and  $0.21 \times 10^{-2}$  respectively.

Keywords : Ground Shear Strain, liquefaction, microtremor.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
 <b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	 <b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	6
C. Pematasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian.....	8
F. Manfaat Penelitian.....	8
 <b>BAB II KAJIAN TEORI.....</b>	 <b>9</b>
A. Dasar Teori.....	9
1. Gempabumi.....	9
2. Gelombang.....	12

3. Gelombang Seismik.....	15
a. Gelombang Badan.....	16
b. Gelombang Permukaan.....	18
4. Seismograf.....	20
5. Mikrotremor.....	21
6. HVSR.....	22
7. Tranformasi Fourier, DFT, FFT.....	25
8. Indeks Kerentanan Seismik.....	30
9. Percepatan Getaran Tanah Maksimum.....	31
10. <i>Ground Shear Strain</i> .....	33
11. Likuifaksi.....	35
12. Mikrozonasi.....	36
13. Kondisi Geologi Daerah Penelitian.....	36
B. Kerangka Berpikir.....	38
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>39</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	39
B. Instrumen Penelitian.....	39
1. Perangkat lunak.....	39
2. Perangkat keras.....	40
C. Teknik Pengambilan Data.....	41
D. Teknik Analisa Data.....	46
E. Analisis Likuifaksi.....	49
F. Diagram Alir Penelitian.....	51
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
A. Indeks Kerentanan Seismik.....	53
B. Percepatan Getaran Tanah Maksimum.....	55
C. <i>Ground Shear Strain</i> .....	59

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>64</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Intensitas gempabumi skala MMI.....	10
Tabel 2. Klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote Nakajama.....	33
Tabel 3. Hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah.....	34
Tabel 4. Syarat pengukuran mikrotremor (SESAME, 2004).....	45
Tabel 5. Nilai <i>threshold</i> untuk keadaan stabil (SESAME, 2004).....	49



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Intensitas dan Percepatan Gempabumi di Yogyakarta dan Jawa Tengah (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2006).....	3
Gambar 2. Interferensi konstruktif (Sardianto, 2012).....	14
Gambar 3. Interferensi destruktif (sardianto, 2012).....	14
Gambar 4. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).....	17
Gambar 5. Ilustrasi gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).....	18
Gambar 6. Gelombang <i>Rayleigh</i> (Elnashai dan Sarno, 2008).....	19
Gambar 7. Gelombang <i>Love</i> (Elnashai dan Sarno, 2008).....	19
Gambar 8. Tampilan Fisik seismometer tipe TDV-23S.....	20
Gambar 9. Tampilan fisik <i>digitizer</i> tipe TDL-303S.....	21
Gambar 10. Peralatan pengukuran mikrotremor (a) Seismometer (b) <i>Digitizer</i> (c) GPS (d) laptop (e) GPS Antena (f) Kompas.....	41
Gambar 11. Peta lokasi pengambilan data.....	43
Gambar 12. Titik pengukuran mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	44
Gambar 13. Contoh pemilihan sinyal pada titik 18.....	46
Gambar 14. Kurva H/V.....	47
Gambar 15. Kurva hubungan kedalaman lapisan tanah dengan kecepatan gelombang geser.....	50
Gambar 16. Diagram alir penelitian.....	51
Gambar 17. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	55
Gambar 18. Mikrozonasi periode dominan ( $T_g$ ) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	56
Gambar 19. Grafik nilai percepatan getaran tanah di setiap titik penelitian dari 12 <i>event</i> gempa.....	58

Gambar 20. Mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	59
Gambar 21. Mikrozonasi nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	60
Gambar 22. Mikrozonasi nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno <i>dioverlay</i> dengan formasi geologi...	63

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian.....	70
Lampiran 2. Nilai PGA Berdasarkan Data Gempabumi Tahun 2006-2015 PGA Menggunakan Metode Kanai (1966).....	71
Lampiran 3. GSS dan Fenomena yang Terjadi dari Nilainya.....	72
Lampiran 4. Analisis Menggunakan <i>Software Geopsy</i> .....	73
Lampiran 5. Program Analisis Matlab.....	79
Lampiran 6. Analisis Mikrotremor dengan <i>Software MATLAB R2008a</i> ...	83
Lampiran 7. <i>Criteria reliable Curve</i> dan <i>Clear Peak SESAME European Research Project</i> .....	88
Lampiran 8. Grafik HVSR Analisis Mikrotremor.....	90
Lampiran 9. Peta Pemodelan.....	100
Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian.....	105



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Gempabumi merupakan getaran dari kulit bumi yang bersifat sementara dan kemudian dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik, sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Sulistiyani, 2012). Getaran tersebut diakibatkan oleh adanya pelepasan energi dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik, yaitu lempeng yang bergerak saling mendekat (konvergen), saling menjauh (divergen) dan saling melewati (transform). Pergerakan lempeng-lempeng tektonik tersebut terjadi secara terus menerus serta menjadi salah satu pemicu terjadinya peristiwa geologi seperti gempabumi, peristiwa gunung berapi, munculnya gunung api bawah laut dan sebagainya.

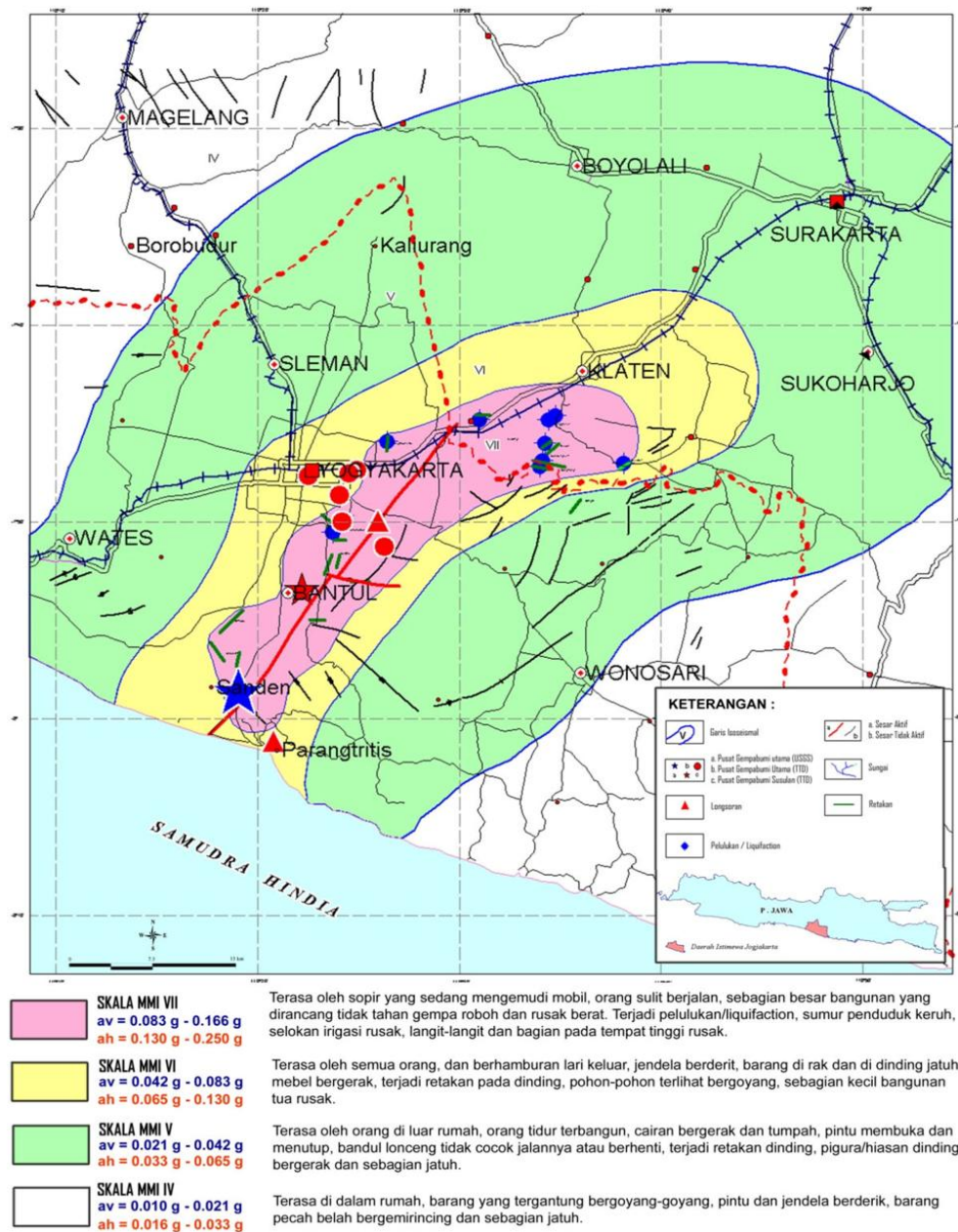
Kepulauan Indonesia secara geografis terletak pada pertemuan 3 lempeng utama, yaitu lempeng Indo-Australia di bagian selatan, lempeng Eurasia di bagian utara dan lempeng Pasifik di bagian timur yang aktif bergerak terhadap satu sama lain (Zakaria, 2007). Salah satu wilayah di Indonesia yang berada di zona pertemuan lempeng yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta yang dekat dengan zona subduksi lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Lempeng Indo-Australia tersebut terus bergerak ke utara mendesak lempeng Eurasia yang mengakibatkan terdapat banyak patahan dan sesar yang aktif (Daryono, 2010). Berdasarkan kondisi geologi tersebut, Daerah Istimewa Yogyakarta diperkirakan memiliki

tingkat kerawanan gempa bumi yang cukup tinggi sehingga sering mengalami gempa bumi dari intensitas kecil hingga besar.

Beberapa kejadian gempa bumi yang memiliki intensitas tinggi di Yogyakarta antara lain terjadi pada tanggal 10 Juni 1867 (belum dinyatakan dalam skala richter) dengan intensitas VIII-IX MMI yang menyebabkan 372 rumah roboh dan menewaskan 5 orang. Gempa besar juga terjadi pada tanggal 23 Juli 1943 dengan kekuatan 8,1 skala richter atau dengan intensitas VII-VIII MMI menyebabkan korban meninggal sebanyak 213 orang sedangkan korban luka-luka mencapai 2,096 jiwa (Daryono, 2010). Terakhir adalah gempa bumi yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 dengan kekuatan 5,9 skala richter atau dengan intensitas VI-VII MMI, tepat terjadi di sepanjang jalur Sesar Opak yang melewati daerah Kretek, Bambanglipuro, Jetis, Imogiri, Piyungan, Berbah, Kalasan, Prambanan dan Klaten (IAGI, 2006). Akibat gempa bumi 2006, lebih dari 5000 orang meninggal dan lebih dari 20.000 orang mengalami luka-luka (Pakaya, 2007).

Gempa bumi Yogyakarta 2006 tidak hanya mengguncang daerah yang berada di kawasan jalur Sesar Opak, namun juga beberapa daerah di Kabupaten Klaten Jawa Tengah. Daerah tersebut juga merasakan guncangan gempa cukup besar terutama daerah Klaten yang berbatasan dengan daerah Yogyakarta seperti Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, seperti yang ditunjukkan oleh peta intensitas dan percepatan gempa bumi di Yogyakarta dan Jawa Tengah pada Gambar 1.





Gambar 1. Peta Intensitas dan Percepatan Gempabumi di Yogyakarta dan Jawa Tengah (PVMGB dalam Supartoyo *et. al.*, 2016).

Berdasarkan Gambar 1, Kabupaten Klaten bagian barat seperti Kecamatan Prambanan, Kecamatan Gantiwarno dan sekitarnya berada di dalam lingkup garis

*isoseismal* yang memiliki intensitas VII MMI, sementara daerah lain di Kabupaten Klaten berada dalam lingkup garis *isoseismal* yang memiliki intensitas VI MMI. Garis *isoseismal* adalah garis yang menghubungkan daerah dengan intensitas gempa yang sama di daerah sekitar episenter. Intensitas yang cukup tinggi tersebut menyebabkan beberapa kecamatan di Kabupaten Klaten mengalami kerusakan yang mengakibatkan ratusan korban jiwa. Akibat dari gempabumi tanggal 27 Mei 2006 Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno termasuk ke dalam daerah yang mengalami kerusakan cukup parah di Kabupaten Klaten, dengan korban jiwa di Kecamatan Prambanan sebanyak 196 orang meninggal, 1655 mengalami luka-luka dan 4401 bangunan roboh, sementara di Kecamatan Gantiwarno 331 orang meninggal, 9136 mengalami luka-luka serta 7292 bangunan roboh (BAPPEDA, 2006), sehingga kedua kecamatan tersebut termasuk ke dalam daerah yang rawan terhadap bencana gempabumi. Selain jenis tanah yang tersebar berupa regosol coklat kelabu yang berbahan induk berupa abu dan pasir vulkan, juga terdapat persebaran hidrogeologi dengan akuifer produktif tersebar di seluruh Kecamatan Prambanan dan sebagian Kecamatan Gantiwarno. Dengan jenis tanah dan kondisi hidrogeologi demikian, Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dimungkinkan memiliki potensi likuifaksi saat terjadi gempabumi.

Dampak gempabumi dapat dikuantifikasi dengan menggunakan pendekatan analisa sinyal mikrotremor. Dengan menggunakan metode ini dapat diketahui nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di daerah penelitian. Percepatan tanah maksimum dan indeks kerentanan seismik merupakan parameter yang berpengaruh terhadap nilai

GSS. Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi, sedangkan indeks kerentanan seismik merupakan suatu parameter yang sangat berhubungan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap gempabumi. Daerah yang memiliki nilai GSS tinggi berpotensi mengalami gerakan tanah, salah satu fenomenanya yaitu likuifaksi.

Fenomena likuifaksi muncul ketika terjadi gempabumi dan dapat menjadi salah satu faktor meningkatnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Salah satu contoh fenomena likuifaksi terjadi di kawasan Candi Prambanan saat gempabumi Yogyakarta 2006 silam, di mana percepatan tanah di Kabupaten Klaten dan Candi Prambanan terhitung  $2 \text{ m/s}^2 - 3 \text{ m/s}^2$  dengan model heterogen, menyebabkan retakan dan likuifaksi di wilayah candi (Natawidjaja, 2016). Salah satu kawasan Candi Prambanan yang mengalami penurunan permukaan tanah terjadi di Candi Ciwa di mana candi di sekitar Candi Ciwa miring ke sebelah candi utama. Berdasarkan hasil uji geoteknik dan geolistrik yang dilakukan oleh Suryolelono (2007) diketahui bahwa bangunan Candi Ciwa menumpang di atas perbaikan tanah dasar fondasi yang merupakan tanah pasir tercampur batu krikil yang dipadatkan dari kedalaman 14 m sampai dengan 8 m atau setebal 6 m. Secara visual peristiwa likuifaksi ditandai dengan munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir (*sand boil*), rembesan air melalui rekahan tanah, atau

tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, penurunan muka tanah dan perpindahan lateral.

Penelitian-penelitian yang berkaitan dengan potensi likuifaksi di antaranya seperti yang dilakukan oleh Taufana tahun 2013 tentang potensi likuifaksi di Desa Panjangrejo, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Aulia *et. al.*, pada tahun 2013 tentang potensi *soil liquifaction* pada Pipa Gas Bawah Laut, Muntohar pada tahun 2010 tentang potensi likuifaksi dan penurunan tanah akibat gempabumi. Penelitian potensi likuifaksi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berdasarkan GSS belum pernah dilakukan, oleh karena itu perlu diadakan penelitian mengenai potensi likuifaksi di keseluruhan Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno untuk tujuan mitigasi bencana alam gempabumi sehingga bermanfaat untuk mengurangi resiko bencana dan sebagai acuan dalam pengembangan wilayah yang aman dari bencana gempabumi. Salah satu contoh mitigasi bencana yang dapat dilakukan oleh masyarakat yaitu membuat pondasi bangunan dengan kedalaman melebihi batas lapisan pasir yang ada di bawah konstruksi bangunan tersebut.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas dapat diidentifikasi beberapa permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Kabupaten Klaten Jawa Tengah merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rentan terhadap bencana gempa bumi.
2. Belum adanya informasi mengenai nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
3. Terbatasnya informasi mengenai potensi likuifaksi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

### **C. Pembatasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Data yang digunakan berupa data mikrotremor dengan batasan koordinat geografis  $7^{\circ}42'43,392''\text{LS}$  -  $7^{\circ}47'45,519''\text{LS}$  dan  $110^{\circ}29'21,450''\text{BT}$  -  $110^{\circ}37'3,214''\text{BT}$  atau seluas  $50,07 \text{ Km}^2$ .
2. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).
3. Sinyal mikrotremor diukur menggunakan *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S dengan titik penelitian sebanyak 30 data.

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah yang dipaparkan sebelumnya, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno?

2. Bagaimana potensi likuifaksi berdasarkan nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
2. Mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian yang dilakukan diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai potensi likuifaksi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
2. Dapat menjadi informasi penting bagi pemerintah setempat maupun masyarakat di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno sebagai bahan pertimbangan dalam antisipasi bencana serta perencanaan pemukiman dan infrastruktur daerah tersebut.



## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Dasar Teori**

##### **1. Gempabumi**

Teori Kekenyalan Elastis (*Elastic Rebound Theory*) menyatakan bahwa gempabumi terjadi akibat pelepasan energi regangan elastis pada litosfer secara tiba-tiba. Semakin besar energi yang dilepaskan semakin besar pula gempabumi yang terjadi (Novianta, 2015). Berdasarkan kedalamannya, gempabumi diklasifikasikan menjadi (Ihsan, 2008):

- a. Gempabumi dalam, yaitu gempabumi yang memiliki kedalaman hiposentrum lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi.
- b. Gempabumi menengah, yaitu gempabumi yang memiliki kedalaman hiposentrum antara 70 km-300 km di bawah permukaan bumi.
- c. Gempabumi dangkal, yaitu gempabumi yang memiliki kedalaman hiposentrum kurang dari 70 km di bawah permukaan bumi.

Gempabumi secara alamiah tidak dapat dihindari dan sulit diprediksi, sehingga saat terjadinya menimbulkan banyak kerugian dan korban jiwa. Tingkat kerusakan atau dampak yang ditimbulkan oleh gempabumi dapat diperkirakan berdasarkan intensitas gempa tersebut. Intensitas adalah besaran yang dipakai untuk mengukur suatu gempa selain dengan magnitudo. Sebelum

manusia mampu mengukur magnitudo gempa, besarnya gempa hanya dinyatakan berdasarkan efek yang diberikan terhadap manusia, alam, struktur bangunan dan reaksi hewan. Besarnya gempa yang ditentukan melalui observasi semacam ini dinamakan dengan intensitas gempa (Fauzi, 2010). Intensitas gempabumi dinyatakan dalam skala Mercally yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Skala gempabumi MMI bersifat kualitatif, skala intensitas ini sangat subjektif dan bergantung pada kondisi lokasi dimana gempa terjadi. Gempa dengan magnitudo yang sama, namun terjadi pada dua lokasi yang berbeda akan memberikan nilai intensitas yang berdeda (Wald *et. al.*, 1999; Lowrie, 2007) seperti dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Intensitas gempabumi skala MMI (*Modified Mercally Intensity*) (Wald *et. al.*, 1999; Lowrie, 2007).

Tingkat Kerawanan	Skala MMI	Rentan nilai MMI	PGA (gal)	Dampak atau Tingkat Kerusakan yang Ditimbulkan
Rendah	I	0,5 - 1,49	<1,7	Getaran tidak dapat dirasakan kecuali dalam keadaan hening, dan hanya dirasakan oleh beberapa orang.
	II	1,50 - 2,50	1,7-14	Getaran dirasakan oleh beberapa orang yang diam, berada di ruangan tingkat atas dan benda-benda ringan yang digantung terlihat bergoyang.
	III	3,50 - 4,50		Getaran dirasakan di rumah tingkat atas, getaran terasa seperti ada truk yang lewat, lamanya getaran dapat ditentukan.
	IV	3,50 - 4,50	14-39	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, beberapa orang di luar rumah, kendaraan yang diam terlihat

				bergerak dengan jelas. Pada malam hari orang terbangun, gelas dapat pecah, jendela dan pintu berbunyi.
Menengah	V	4,51 - 5,49	39-92	Hampir semua orang merasakan getaran, jendela kaca dan plester dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon yang tinggi tampak bergoyang.
	VI	5,50 - 6,50	92-180	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, mayoritas penduduk kaget dan lari keluar, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Terjadi kerusakan ringan.
	VII	6,51 - 7,49	180-340	Semua orang keluar rumah, kerusakan ringan pada rumah dengan konstruksi baik. Cerobong asap pecah atau retak-retak. Getaran terasa oleh orang yang naik kendaraan.
	VIII	7,50 - 8,50	340-650	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi kuat, retak-retak pada bangunan yang kuat. Banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat. Meja kursi terlempar, air menjadi keruh dan sulit mengendarai kendaraan.
Tinggi	IX	8,51 - 9,49	650-1240	Umumnya pondasi rumah rusak, rangka struktur bangunan terpuntir, rumah tampak bergeser dari pondasinya, pipa-pipa dalam tanah terputus.
	X	9,50 - 10,50	>1240	Bangunan tembok dan pondasinya hancur, bangunan kayu rusak, dan rel kereta api sedikit membengkok.
	XI	10,51 - 11,49		Rel kereta api bengkok, rumah kayu sedikit yang masih berdiri, jembatan rusak, pipa saluran rusak berat dan tidak dapat digunakan.
	XII	11,50 - 12,50		Kerusakan hampir menyeluruh, penglihatan kabur, benda-benda terlempar ke udara.

## 2. Gelombang

Gelombang adalah bentuk gangguan atau getaran yang merambat. Gelombang berdasarkan mediumnya terbagi menjadi dua, yaitu (Dharmawan *et. al.*, 2009):

### a. Gelombang mekanik

Gelombang mekanik yaitu gelombang yang perambatannya memerlukan medium. Contoh gelombang mekanik yaitu getaran tali, gelombang permukaan air, gelombang seismik dan gelombang pada pegas.

### b. Gelombang elektromagnet

Gelombang elektromagnet yaitu gelombang yang tidak memerlukan medium dalam perambatannya. Contoh gelombang elektromagnet yaitu gelombang televisi, gelombang radio, sinar *ultraviolet* dan infra merah.

Menurut arah getarnya, gelombang dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah getarnya tegak lurus terhadap arah perambatannya. Gelombang longitudinal yaitu gelombang yang arah getarnya searah atau berimpit dengan arah perambatannya. Gelombang mempunyai beberapa sifat umum yaitu: pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), lenturan (difraksi) dan penggabungan gelombang (interferensi).

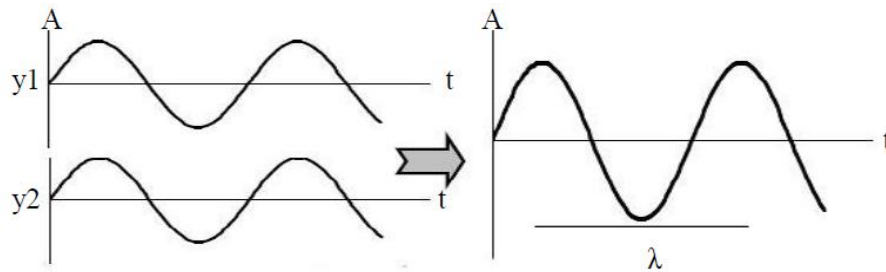
Pada pemantulan gelombang akan berlaku sudut datang gelombang sama dengan sudut pantulnya. Gelombang datang, garis normal dan gelombang

pantul terletak pada satu bidang datar. Pada pembiasan gelombang berlaku Hukum Snellius yang menyebutkan bahwa bila gelombang datang dari medium lebih rapat ke medium yang kurang rapat maka gelombang akan dibiaskan mendekati garis normal, dan sebaliknya (Mukti, 2011).

Difraksi terjadi ketika suatu gelombang melewati penghalang yang mempunyai celah, maka celah tersebut akan menjadi sumber gelombang yang baru dan meneruskan gelombang tersebut ke segala arah. Gelombang yang melewati celah sempit itu akan mengalami lenturan (difraksi). Interferensi gelombang adalah perpaduan dua gelombang yang terjadi berdasarkan prinsip superposisi gelombang serta bergantung pada beda fase antar gelombang. Prinsip superposisi adalah jika dua gelombang tunggal atau lebih berjalan dalam satu medium, maka gabungan fungsi gelombang adalah penjumlahan aljabar dari masing-masing fungsi gelombang tersebut. Persamaan superposisi gelombang ditunjukkan pada persamaan (1) (Halliday, 1978).

$$y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx - \omega t + \delta) \quad (1)$$

Interferensi gelombang terbagi menjadi dua bagian yaitu interferensi konstruktif dan interferensi destruktif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar (2) dan (3).



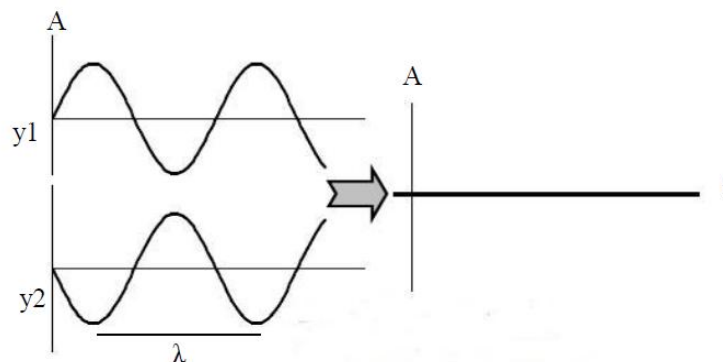
Gambar 2. Interferensi Konstruktif (Siahaan, 2012).

Pada interferensi konstruktif terjadi penguatan gelombang dikarenakan kedua gelombang tersebut memiliki beda fase 0 ( $\delta = 0$ ). Ketika disubstitusikan ke persamaan (1) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y_1 + y_2 = 2A \sin(kx - \omega t) \quad (2)$$

Pada interferensi destruktif terjadi pelemahan gelombang dikarenakan kedua gelombang tersebut memiliki beda fase ( $\delta$ ) sebesar  $\pi$  radian =  $180^\circ$  dan jika amplitudonya sama maka akan saling menghilangkan. Nilai beda fase disubstitusi ke persamaan (1) sehingga diperoleh:

$$y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) - A \sin(kx - \omega t) = 0 \quad (3)$$



Gambar 3. Interferensi Destruktif (Siahaan, 2012).

Energi gelombang adalah energi mekanik yang disalurkan gelombang ketika merambat. Energi gelombang dapat dirumuskan dengan persamaan (4) (Wiendartun, 2011).

$$E = \frac{1}{2}kA^2 \text{ dengan } k = \omega^2 m \quad (4)$$

sehingga dapat dituliskan

$$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \quad (5)$$

dengan  $E$  adalah energi gelombang (J),  $k$  adalah bilangan gelombang ( $\text{kg/s}^2$ ),  $A$  adalah amplitudo (m),  $m$  adalah massa partikel pada medium (kg) dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut (rad/s).

### 3. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi dan perambatannya bergantung pada elastisitas batuan, oleh karena itu gelombang seismik termasuk ke dalam gelombang mekanik. Gelombang seismik dapat ditimbulkan melalui dua metode, yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan metode penimbunan gelombang seismik menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia (disengaja), biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif merupakan metode yang menggunakan gangguan yang muncul secara alamiah, seperti gempabumi. Gelombang seismik terdiri dari dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik serta arah rambatnya menjalar ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel, media dan arah penjalarannya, gelombang dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni:

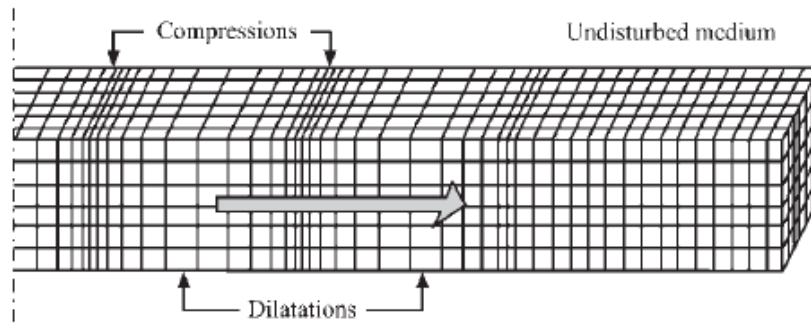
1) Gelombang Primer (P)

Gelombang primer disebut juga dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan perambatan gelombang yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan gelombang Sekunder. Arah simpangan gelombang P searah dengan arah perambatannya. Ilustrasi gerak gelombang P ditunjukkan pada Gambar 4. Gelombang P menjalar pada medium padat, cair, maupun gas. Persamaan kecepatan penjalaran gelombang ditunjukkan pada persamaan (6) (Kayal, 2008).

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (6)$$

dengan  $V_p$  adalah kecepatan gelombang P (m/s),  $k$  adalah modulus Bulk (Pa),  $\mu$  adalah modulus geser (Pa), dan  $\rho$  adalah densitas batuan ( $\text{Kg/m}^3$ ).





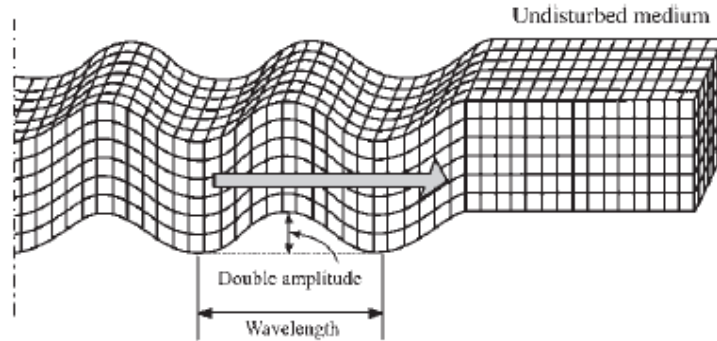
Gambar 4. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

## 2) Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal. Gelombang ini kecepatan rambatnya lebih lambat apabila dibandingkan dengan gelombang P. Arah simpangan gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Ilustrasi gerak gelombang S ditunjukkan pada Gambar 5. Perambatan gelombang S dipengaruhi oleh modulus geser dan densitas batuan sehingga gelombang S hanya dapat menjalar pada medium padat saja. Persamaan kecepatan penjalaran gelombang ditunjukkan pada persamaan (7) (Telford, *et al.*, 2004).

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (7)$$

dengan  $V_s$  adalah kecepatan gelombang S (m/s),  $\mu$  adalah modulus geser (Pa), dan  $\rho$  adalah densitas batuan ( $\text{Kg/m}^3$ ).



Gambar 5. Ilustrasi gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008)

b. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

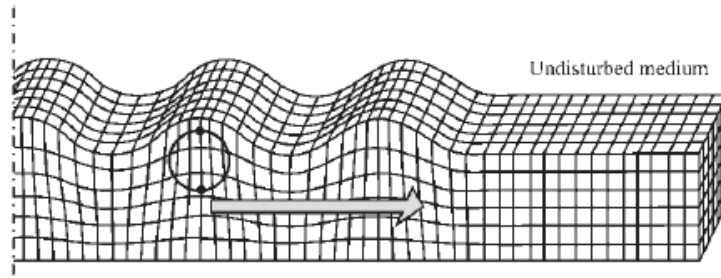
Gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo besar yang menjalar pada permukaan bebas (*free surface*) (Susilawati, 2008).

Berdasarkan sifat gerakan partikel mediumnya, terdapat dua jenis gelombang permukaan, yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.

1) Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* atau dikenal juga dengan nama *ground roll* merupakan salah satu gelombang permukaan yang gerakan partikelnya menyerupai elips dan tegak lurus terhadap permukaan dan arah penjalarannya. Gelombang ini terjadi akibat interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif (Susilawati, 2008). Ilustrasi gelombang *Rayleigh* ditunjukkan pada Gambar 6. Kecepatan gelombang *Rayleigh* bergantung pada konstanta elastik dan kecepatannya lebih kecil dari  $V_s$ . Persamaan kecepatan gelombang *Rayleigh* ditunjukkan pada persamaan (8) (Elnashai dan Sarno, 2008).

$$V_R = 0,92\sqrt{V_S} \quad (8)$$

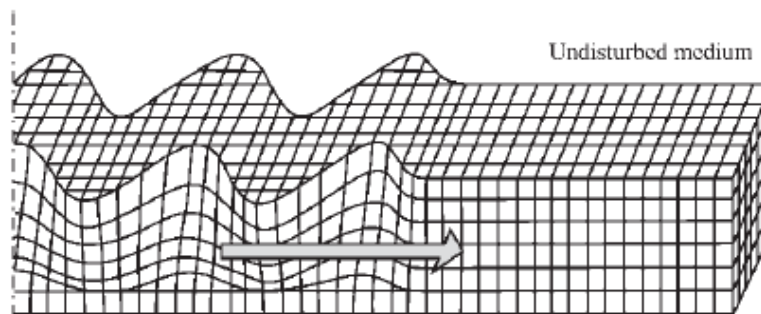


Gambar 6. Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008).

## 2) Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikel medium mirip dengan gerakan pada gelombang S. Ilustrasi gelombang *Love* ditunjukkan pada Gambar 7. Kecepatan penjalarannya bergantung pada panjang gelombangnya dan bervariasi di sepanjang permukaan. Persamaan kecepatan gelombang *Love* ( $V_Q$ ) dinyatakan sebagai (Lowrie, 2007):

$$V_R < V_Q < V_S \quad (9)$$



Gambar 7. Gelombang *Love* (Elnashai and Sarno, 2008).

#### 4. Seismograf

Seismograf merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mencatat getaran tanah beserta informasi waktu yang tepat. Hasil rekaman seismograf disebut seismogram. Seismograf terdiri dari beberapa bagian, antara lain: sensor (seismometer), *amplifier* atau pengondisi sinyal, ADC (*Analog to Digital Converter*), sistem pewaktu (*time system*), *recorder* dan *power supply* (Havskov, 2002). Seismometer merupakan alat yang digunakan untuk merespon getaran tanah dan menangkap sinyal yang terekam oleh seismograf. Seismometer memiliki tiga detektor yang dapat mendeteksi getaran tanah. Pada penelitian ini seismograf yang digunakan adalah *Digital Portable Seismograph* yang terdiri dari seismometer tipe TDV-23S dan *digitizer* tipe TDL-303S yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S.



Gambar 9. Tampilan fisik *digitizer* tipe TDL-303S.

## 5. Mikrotremor

Mikrotremor (*ambient vibration*) merupakan getaran tanah yang kecil dan terus menerus yang berasal dari dua sumber utama, yaitu alam dan aktivitas manusia (Kanai, 1983). Mikrotremor dapat diartikan sebagai getaran alami tanah yang terjadi secara terus menerus, serta terjebak pada lapisan permukaan sedimen dan terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap (Arifin *et. al.*, 2014). Mikrotremor terjadi karena getaran akibat orang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, getaran laut dan getaran alamiah tanah.

Menurut Mirzaoglu *et. al.* (2003), mikrotremor merupakan getaran tanah yang memiliki amplitudo pergeseran sekitar  $0,1-1 \mu m$ . Terdapat dua jenis mikrotremor berdasarkan periodenya, yaitu mikrotremor periode pendek (kurang dari 1 detik) dan keadaan ini terkait dengan struktur bawah permukaan

yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor dengan periode panjang (lebih dari 1 detik), keadaan ini terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam, menunjukkan dasar dari batuan keras.

## **6. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)**

HVSr merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara spektrum H/V dengan *ellipticity curve* dari gelombang permukaan Rayleigh. Spektrum H/V adalah perbandingan antara spektrum Fourier komponen horizontal dan vertikal dari mikrotremor. *Ellipticity* Rayleigh merupakan perbandingan spektral dari amplitudo komponen horizontal terhadap vertikal (Aki dan Richards, 2002).

Pada tahun 1989, Nakamura mencoba memisahkan efek geologi dari efek sumber gelombang dengan meminimalisir spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal pada titik ukur yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikalnya mendekati 1. Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak, nilai maksimumnya mengalami perbesaran (amplifikasi), yaitu lebih besar dari 1. Berdasarkan kondisi tersebut maka Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer HVSr mikrotremor. Faktor amplifikasi dari gerakan komponen horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di

area cekungan dilambangkan dengan  $T_H$  dan  $T_V$  (Nakamura, 2000). Besarnya faktor amplifikasi horizontal  $T_H$  adalah

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (10)$$

dengan  $S_{HS}$  adalah spektrum komponen horizontal di permukaan tanah,  $S_{HB}$  adalah spektrum dari komponen horizontal pada dasar lapisan tanah.

Besarnya faktor amplifikasi  $T_V$  adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (11)$$

dengan  $S_{VS}$  adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah dan  $S_{VB}$  adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di bawah permukaan tanah.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam metode HVSR yaitu sebagai berikut (Nakamura, 2008):

- a. Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser.
- b. Komponen vertikal gelombang tidak diamplifikasi lapisan tanah lunak dan hanya komponen horizontal yang teramplifikasi.
- c. Batuan dasar (*basement*) menyebarkan gelombang ke segala arah.
- d. Gelombang *Rayleigh* diasumsikan sebagai *noise* mikrotremor dan diusulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang *Rayleigh*.
- e. Efek gelombang *Rayleigh* pada rekaman mikrotremor digunakan untuk komponen vertikal dan horizontal pada rentang frekuensi (0,2-2,0 Hz),

sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (12)$$

jika dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (13)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang *Rayleigh* dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* ( $T_{SITE}$ ).  $T_{SITE}$  menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi. Berdasarkan persamaan (10), (11), dan (13) diperoleh  $T_{SITE}$  sebagai berikut:

$$T_{SITE} = \frac{TH}{TV} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (14)$$

sehingga

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}}{S_{VS}} \quad (15)$$

Persamaan (15) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).



## 7. Transformasi Fourier, DFT, FFT

### a. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan suatu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi.

Persamaan transformasi Fourier adalah:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (16)$$

dengan  $x(t)$  adalah fungsi dalam kawasan waktu,  $e^{-j2\pi ft}$  adalah fungsi kernel,  $j = \sqrt{-1}$ ,  $X(f)$  adalah fungsi dalam kawasan frekuensi,  $f$  dalam Hz dan  $t$  dalam sekon. Persamaan (16) akan memiliki nilai apabila terpenuhinya syarat:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty \quad (17)$$

Untuk mendapatkan kembali sinyal berdomain waktu, perlu dilakukan inversi pada transformasi Fourier seperti ditunjukkan oleh persamaan (18):

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)e^{+j2\pi ft} df \quad (18)$$

### b. Discrete Fourier Transform (DFT)

DFT merupakan prosedur matematika yang digunakan untuk menentukan harmonik atau frekuensi yang merupakan isi dari urutan sinyal diskrit. Urutan sinyal diskrit adalah urutan nilai yang diperoleh dari *sampling* periodik sinyal kontinyu dalam domain waktu. DFT dapat diaplikasikan untuk analisis

frekuensi dari sebuah rangkaian sinyal domain waktu (Tan, 2008). Persamaan DFT dapat diperoleh dengan mengkonversi operasi integral ke operasi penjumlahan seperti pada persamaan (19) dan  $\omega$  menjadi  $\theta n$  seperti pada persamaan (20) sehingga dihasilkan *Discrete-Time Fourier Transform* (DTFT) yang diberikan pada persamaan (21).

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \rightarrow \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \quad (19)$$

$$e^{-j\omega} \rightarrow e^{-j\theta n} \quad (20)$$

$$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x[n]e^{-j\theta n} \quad (21)$$

Dalam algoritma DTFT,  $\theta$  adalah frekuensi digital dengan satuan radian per sampel. Dengan kata lain, algoritma DTFT belum bersifat diskrit pada domain frekuensi. Perlu adanya *sampling* pada domain frekuensi seperti pada domain waktu yang bersifat diskrit. Sampel tersebut berada pada rentang 0 hingga  $2\pi$  yang ekuivalen dengan 0 sampai  $f_s$  Hz. *Sampling* dilakukan dengan membagi rentang ini sedemikian rupa sehingga didapatkan data slot frekuensi berjumlah  $N$  dengan jarak yang sama. Jika  $N$  adalah panjang data sinyal yang akan dikenakan transformasi Fourier, maka:

$$\text{Unit frekuensi} = \frac{2\pi}{N} \quad (22)$$

Pada *sampling* domain waktu,  $T$  (dalam sekon) mewakili interval *sampling* antar sampel. Pada *sampling* frekuensi terdapat  $2\pi/N$  yang mewakili interval

*sampling* frekuensi (dalam satuan frekuensi). Frekuensi digital ( $\theta$ ) yang telah dilakukan *sampling* dapat diwakili oleh  $\theta[k]$ , dengan  $k$  adalah bilangan bulat yang merupakan indeks frekuensi. Pada persamaan (23) didefinisikan nilai  $\theta[k]$  untuk transformasi Fourier dengan panjang data  $N$ .

$$\theta[k] = \frac{2\pi k}{N} \quad (23)$$

Dengan mengganti  $\theta$  pada persamaan (21) dengan  $\theta[k]$  pada persamaan (23) akan didapatkan persamaan yang dikenal dengan algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT) dengan indeks frekuensi diskrit  $k$ , sinyal input  $x[n]$  dengan indeks waktu diskrit  $n$ , dan panjang data  $N$  (Park, 2010).

$$X[k] = \sum_{n=0}^{n=N-1} x[n]e^{-2\pi kn} \quad (24)$$

atau lebih sering ditulis

$$X[k] = \sum_{n=0}^{n=N-1} x[n]W_N^{kn} \quad (25)$$

dengan

$$W_N^{kn} = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \quad (26)$$

### c. *Fast Fourier Transform* (FFT)

FFT merupakan metode DFT yang lebih efisien dalam perhitungan secara komputasi. Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil penyamplingan

menjadi beberapa bagian, kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan algoritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. Ada tiga kelas FFT yang umum digunakan di dalam satu *software* DSP yaitu *Decimation in Time* (DIT), *Decimation in Frequency* (DIF) dan *Split radix*.

Ketiga jenis FFT tersebut merupakan proses iterasi *sequence* data yang dilakukan secara berbeda dan memanfaatkan fungsi kernel yang memiliki sifat simetris pada suatu nilai tertentu dalam satu periode sinyal (Riyanto, 2009). Berawal dari DFT  $N$  data pada persamaan (25) yang dapat dijabarkan sebagai:

$$X^d[k] = x[0] + x[1]W_N^{k(1)} + x[2]W_N^{k(2)} + \dots + x[N-1]W_N^{k(N-1)} \quad (27)$$

bila  $x(n)$  dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil, persamaan (27) dapat diubah menjadi persamaan (28).

$$X[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_N^{(2n+1)k} \quad (28)$$

Persamaan (28) juga dapat ditulis

$$X[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_N^{2nk} \quad (29)$$

Karena  $W_N^n = W_{\frac{N}{2}}$ , persamaan (29) dapat diubah menjadi

$$X[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (30)$$

dengan  $n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$ . Persamaan (30) dapat pula ditulis sebagai fungsi baru

$$X[k] = G[k] + W_N^k H[k] \quad (31)$$

dengan  $G[k]$  dan  $H[k]$  didefinisikan pada persamaan (32) dan (33)

$$G[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (32)$$

$$H[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n + 1] W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (33)$$

Karena  $G[k]$  dan  $H[k]$  periodik dengan periode  $\frac{N}{2}$  akan diperoleh  $G\left[k + \frac{N}{2}\right] = G[k]$  dan  $H\left[k + \frac{N}{2}\right] = H[k]$ , dan karena  $W_N^{k+\frac{N}{2}} = -W_N^k$  akan didapatkan persamaan (34)

$$X\left[k + \frac{N}{2}\right] = G[k] - W_N^k H[k] \quad (34)$$

Persamaan (31) dan (34) dikenal dengan FFT *radix-2 Decimation In Time* (DIT), dengan data dipilah menjadi dua, bagian genap dan bagian ganjil. FFT *radix-2* juga dapat didekati dengan pendekatan matrik. Persamaan (35) merupakan susunan matrik DFT untuk  $N = 8$  (Loan dan Pitsiamis, 1992).

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \\ 1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 & W_8^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} \quad (35)$$

## 8. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. Indeks kerentanan seismik berkaitan dengan kondisi geomorfologis. Beberapa faktor yang mempengaruhi indeks kerentanan seismik di antaranya adalah sedimen berusia kuartar yang memiliki tingkat soliditas rendah sehingga sangat berpengaruh terhadap faktor amplifikasi saat terjadi gempa bumi, sedangkan pada batuan berumur tersier cenderung lebih *solid* dan sangat stabil terhadap getaran gempa bumi sehingga tidak menimbulkan amplifikasi (Fah *et. al.*, 2006).

Faktor amplifikasi ( $A_g$ ) merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan. Dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat pada suatu medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi kerentanan seismik yaitu frekuensi dominan yang terdapat di daerah tersebut. Nilai frekuensi dominan

diperoleh dari kurva H/V hasil dari pengolahan sinyal mikrotremor. Indeks kerentanan seismik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (36) (Nakamura, 1997).

$$K_g = (A_g^2 / \pi^2 f_0)(1/V_b) \quad (36)$$

dengan  $f_0$  adalah frekuensi dominan dan  $V_b$  adalah kecepatan pergeseran gelombang di bawah permukaan tanah. Nilai  $V_b$  diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan metode *ellipticity curve*.

## 9. Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi. Percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik tertentu dalam suatu kawasan dihitung dari akibat semua gempabumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan besar magnitudo dan jarak hiposenternya, serta periode dominan tanah dimana titik tersebut berada (Kirbani, 2012).

Metode Kanai merupakan salah satu metode pendekatan empiris yang dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum. Metode ini memperhitungkan input parameter gempabumi seperti episenter,

kedalaman dan magnitudo, serta periode dominan tanah sebagai input parameter hasil analisis mikrotremor. Rumus empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai (1966 ) ditunjukkan oleh persamaan (Douglas, 2011):

$$a_g = \frac{a_1}{\sqrt{T_g}} 10^{a_2 M - P \log R + Q} \quad (37)$$

dengan

$$P = a_3 + a_4/R \quad (38)$$

dan

$$Q = a_5 + a_6/R \quad (39)$$

dengan  $a_g$  adalah percepatan tanah di titik pengukuran (gal),  $T_g$  adalah periode dominan tanah (s),  $M$  adalah magnitudo gempabumi dalam skala Richter,  $R$  adalah jarak hiposenter (Km) dan dengan konstanta-konstanta  $a_1= 5$ ,  $a_2= 0,61$ ,  $a_3= 1,66$ ,  $a_4 = 13,60$ ,  $a_5= -1,83$ .

Periode dominan ( $T_g$ ) merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi nilai percepatan getaran tanah maksimum. Periode dominan diperoleh dari frekuensi dominan ( $f_g$ ) yang dapat mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah (Arifin *et. al.*, 2014). Periode dominan tanah akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*).



Berdasarkan besarnya periode dominan ( $T_g$ ), dapat diketahui perbedaan karakteristik tanah dan geologi di daerah penelitian seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima (Gunawan dan Subardjo, 2005; Pitilakis *et. al.*, 2004).

Klasifikasi Tanah		Periode predominan (sekon)	Frekuensi Predominan (Hz)	Keterangan
Kanai	Omote- Najima			
Jenis I	Jenis A	0,05-0,15	6,7-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras ( <i>hard sandy gravel</i> )
Jenis II	Jenis B	0,10-0,25	4-6,7	Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir keriki ( <i>sandy gravel</i> ), lempung keras berpasir ( <i>sandy hard clay</i> ), lempung ( <i>loam</i> ), dan sebagainya.
Jenis III	Jenis C	0,25-0,40	2,5-4	Batuan <i>alluvial</i> yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui ( <i>buff formation</i> ).
Jenis IV	Jenis D	>0,40	1,4-2,5	Batuan <i>alluvial</i> yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m.

## 10. *Ground Shear Strain* (GSS)

*Ground Shear Strain* (GSS) merupakan kemampuan suatu material lapisan tanah untuk meregang atau bergeser saat terjadi gempa bumi (Dewi, 2013).

Daerah-daerah yang memiliki nilai GSS yang tinggi memiliki resiko tinggi terhadap gerakan tanah akibat gempa bumi. Tabel 3 menunjukkan hubungan GSS terhadap bencana yang diakibatkan oleh tanah.

Tabel 3. Hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah (Nakamura, 1997).

Nilai Regangan( $\gamma$ )	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
Fenomena	Gelombang, Getaran	Retak, Penurunan tanah		Longsor, Penurunan tanah, Likuifaksi		
Sifat dinamis	Elastis	Plastik elastic		Keruntuhan		
		Efek Ulangan, Efek Kelajuan dari Pemuatan				

Besarnya *Ground Shear Strain* ( $\gamma$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan

(40) (Nakamura, 1997)

$$\gamma = (A_g d)/H \quad (40)$$

dengan  $A_g$  adalah faktor amplifikasi,  $H$  adalah ketebalan lapisan tanah, dan  $d$  adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah. Untuk menentukan besar  $d$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (41) (Nakamura, 1997).

$$d = a_g / (2\pi f_0)^2 \quad (41)$$

dengan  $a_g$  adalah percepatan di bawah permukaan tanah dan  $f_0$  adalah frekuensi dominan. Ketebalan sedimen  $H$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (42) (Nakamura, 1997).

$$H = (V_b/A_g)/4f_0 \quad (42)$$

Persamaan (41) dan (42) disubstitusi ke persamaan (40) menjadi:

$$\gamma = (A_g^2 a_g / (2\pi f_0)) (1/V_b) \quad (43)$$

Sehingga persamaan *Ground Shear Strain* ( $\gamma$ ) adalah

$$\gamma = (K_g a_g) \quad (44)$$

## 11. Likuifaksi

Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan tanah akibat getaran gempabumi. Likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air (Tohari *et. al.*, 2015). Dikarenakan lapisan tanah dengan ukuran pasir merupakan lapisan yang memiliki porositas baik, sehingga memungkinkan lapisan ini menyimpan dan mengalirkan air. Lapisan yang memiliki porositas yang baik memicu penyerapan air dalam lapisan yang menyebabkan lapisan tersebut jenuh air.

Seiring naiknya tekanan air yang diakibatkan oleh guncangan gempa, maka tegangan efektif menjadi berkurang. Modulus pasir menurun bersamaan dengan turunnya tegangan efektif. Dengan begitu tanah pasir menjadi melunak (mencair). Oleh karena itu tanah tidak mampu menopang beban di atasnya dan menyebabkan amblasnya bangunan, miring ataupun longsor (Muntohar, 2010).

Potensi likuifaksi dapat diketahui melalui hubungan regangan dengan sifat dinamis tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Ketika suatu daerah

memiliki nilai regangan tanah berkisar antar  $10^{-1} - 10^{-2}$  maka diperkirakan daerah tersebut berpotensi mengalami likuifaksi ketika terjadi gempabumi.

## **12. Mikrozonasi**

Mikrozonasi adalah upaya untuk mengevaluasi dan memetakan potensi bencana di suatu daerah, sehingga mampu memberikan gambaran bahaya seismik dasar serta memberikan batas-batas wilayah yang rawan terhadap bencana gempabumi (Karyono *et. al.*, 2016). Mikrozonasi gempa adalah peta yang menggambarkan besarnya koefisien gempa pada suatu daerah, khususnya daerah perkotaan yang pada umumnya disebabkan oleh getaran tanah yang kuat selama gempabumi. (Najoan *et. al.*, 1996).

Peta ini jika dikombinasikan dengan data mikrotremor suatu daerah dapat digunakan untuk mengembangkan strategi penanggulangan bencana yang diakibatkan oleh gempabumi seperti likuifaksi. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk membuat peta mikrozonasi yaitu *software* Surfer 10.

## **13. Kondisi Geologi Daerah Penelitian**

### **1. Kecamatan Prambanan**

Kecamatan Prambanan secara administratif terbagi menjadi 16 desa dan 121 dusun. Kecamatan Prambanan terletak di bagian barat dari Kabupaten Klaten dan berbatasan dengan Kecamatan Jogonalan di sebelah timur, Kecamatan Manisrenggo di sebelah utara, Kecamatan Kalasan (DIY) di

sebelah barat, Kecamatan Gantiwarno di bagian tenggara dan Kecamatan Prambanan (DIY) di bagian selatan. Kecamatan Prambanan tercatat memiliki luas wilayah 24,43 Km<sup>2</sup>.

Berdasarkan satuan formasi, litologi Kecamatan Prambanan tersusun atas Formasi Merapi Muda, Formasi Kebobutak, Formasi Semilir dan jenis tanah berupa regosol kekelabuan yang berbahan induk berupa abu dan pasir vulkan.

## 2. Kecamatan Gantiwarno

Kecamatan Gantiwarno terletak di bagian barat daya dari Kabupaten Klaten yang berbatasan dengan Kecamatan Prambanan di sebelah barat, Kabupaten Gunungkidul (DIY) di sebelah selatan, Kecamatan Jogonalan di sebelah utara dan Kecamatan Wedi di sebelah timur. Kecamatan Gantiwarno memiliki luas wilayah 25,64 Km<sup>2</sup> dengan jumlah desa sebanyak 16 desa dan 119 dusun. Berdasarkan satuan formasi, litologi Kecamatan Gantiwarno tersusun atas Formasi Merapi Merapi, Formasi Kebobutak dan jenis tanah berupa regosol kekelabuan yang berbahan induk berupa abu dan pasir vulkan.

## 3. Formasi geologi daerah penelitian

Formasi litologi di daerah penelitian di antaranya:

### a. Formasi Merapi Muda

Formasi Merapi Muda terdiri dari abu, tuf, aglomerat, breksi dan leleran lava tak terpisahkan.

b. Formasi Kebobutak

Formasi Kebobutak tersusun atas batu pasir berlapis baik, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf dan aglomerat (Surono, 2008).

c. Formasi Semilir

Formasi Semilir terdiri dari perselingan antara breksi-tuf, breksi batu apung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan.

**B. Kerangka berpikir**

Data yang diperoleh dari penelitian di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berupa data mikrotremor. Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR. Proses *windowing* dan *cutting* dari dua komponen sinyal dilakukan dengan menggunakan *software Geopsy*.

Dalam menentukan adanya potensi likuifaksi perlu dibandingkan dengan tabel nilai GSS seperti pada Tabel 3. Nilai GSS dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu indeks kerentanan seismik dan percepatan tanah maksimum. Untuk menentukan indeks kerentanan seismik diperlukan faktor amplifikasi dan frekuensi dominan yang diperoleh dengan menggunakan *software MATLAB R2008a* dan nilai kecepatan gelombang geser di bawah permukaan diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan metode *ellipticity curve*. Sementara untuk menentukan percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode Kanai sesuai dengan persamaan (37).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Pengambilan data mikrotremor dilakukan pada tanggal 12-13 Maret 2017 dan 18-19 Maret 2017. Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi literatur dan diskusi yang dimulai pada bulan Oktober 2017. Pengambilan data dilakukan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, Kabupaten Klaten sebanyak 30 titik penelitian.

#### **B. Instrumen Penelitian**

Instrumen penelitian yang digunakan terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat lunak (*software*):
  - a. *Global Mapper 13* berfungsi untuk *register* peta, memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS, mengubah format JPEG atau PNG menjadi KMZ atau TIFF dan mengkonversi titik koordinat UTM ke dalam bentuk long/lat.
  - b. *Surfer 10* berfungsi untuk membuat peta desain penelitian dan membuat peta mikrozonasi.

- c. *Google Earth* berfungsi untuk mengetahui gambaran lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data.
- d. *Sessary Geopsy* berfungsi untuk memilih sinyal tanpa *noise* dari data mikrotremor dengan proses *windowing* dan *cutting*.
- e. *Microsoft Word 2007* berfungsi untuk menyusun laporan.
- f. *Microsoft Excel 2007* untuk mengolah data.
- g. *MATLAB R2008a* untuk menganalisis data mikrotremor dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

2. Perangkat keras (*hardware*):

- a. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
- b. Seismometer tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- c. *Digitizer* tipe TDL-303S untuk merekam getaran tanah yang diperoleh dari seismometer.
- d. Antena GPS terhubung dengan *digitizer* berfungsi untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
- e. Kabel untuk menghubungkan *digitizer* dengan seismometer.
- f. Kompas digunakan untuk menentukan arah utara saat pemasangan seismometer.



- g. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis data.
- h. Lembar *chek list* survei mikrotremor.

Perangkat keras yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Peralatan pengukuran mikrotremor (a) Seismometer (b) *Digitizer* (c) GPS (d) laptop (e) GPS Antena (f) Kompas.

### C. Teknik Pengambilan Data

Sebelum pengambilan data, dilakukan pra-survei dan survei lapangan.

#### 1. Pra-survei

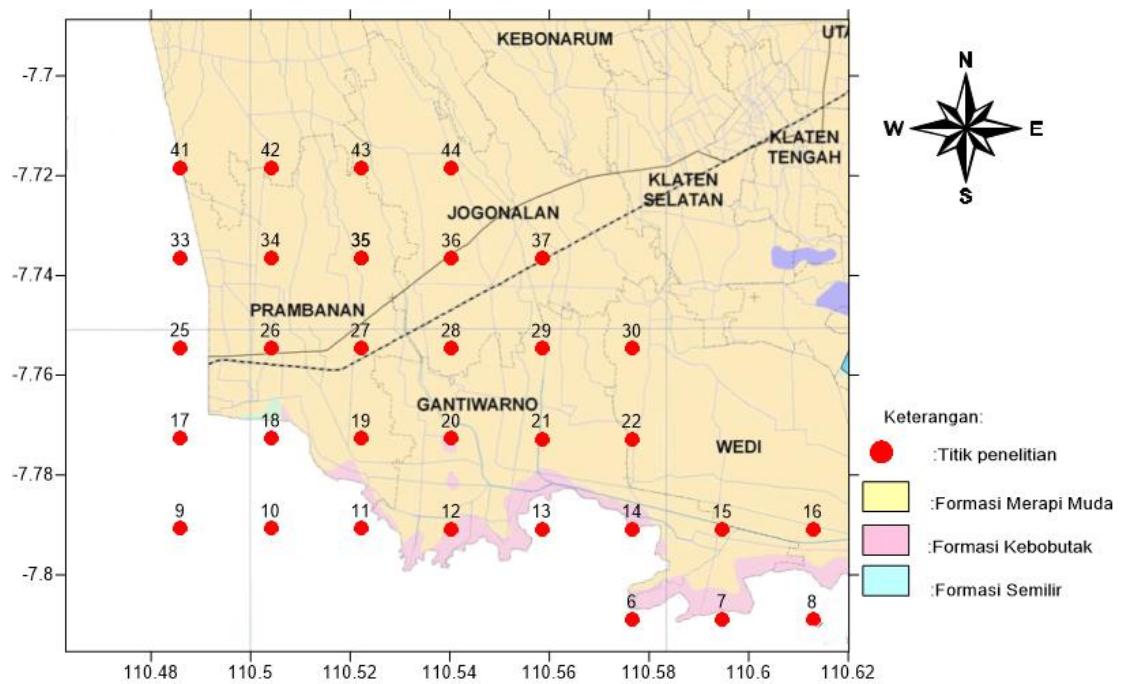
Tahapan yang dilakukan selama pra-survei yaitu penentuan lokasi penelitian, survei umum lokasi penelitian dan pembuatan desain survei.

Penentuan lokasi penelitian didasarkan pada:

- a. Menurut IAGI (2006), gempa Yogyakarta tidak hanya mengguncang daerah yang berada di sepanjang jalur Sesar Opak, namun juga beberapa daerah di Kabupaten Klaten Jawa Tengah yang juga merasakan guncangan gempa yang cukup besar.
- b. Berdasarkan Gambar 1, daerah yang berada di kawasan Klaten bagian barat dan barat daya mengalami guncangan gempa dengan intensitas VII MMI yang diakibatkan oleh Gempabumi Yogyakarta 2006 (PVMBG dalam Supartoyo *et. al.*, 2016).
- c. Menurut Natawidjaja (2016), gempabumi Yogyakarta 2006 mengakibatkan percepatan tanah di Kabupaten Klaten dan Candi Prambanan terhitung  $2 \text{ m/s}^2 - 3 \text{ m/s}^2$  dengan model heterogen, menyebabkan retakan dan likuifaksi di wilayah candi.

Tahapan kedua yaitu survei umum lokasi penelitian, bertujuan untuk mengetahui secara langsung daerah penelitian baik dari segi kepadatan penduduk, lingkungan sekitar juga kondisi topografi. Secara umum Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berada pada wilayah yang datar, banyak area pesawahan serta padat penduduk.

Tahapan ketiga yaitu pembuatan desain survei lokasi penelitian yang dibuat secara grid sebanyak 33 titik dengan spasi antar titik 2 km. Hal ini bertujuan supaya dapat mewakili setiap formasi geologi yang ada di lokasi penelitian. Pembuatan desain survei mengacu pada peta geologi Kabupaten Klaten seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

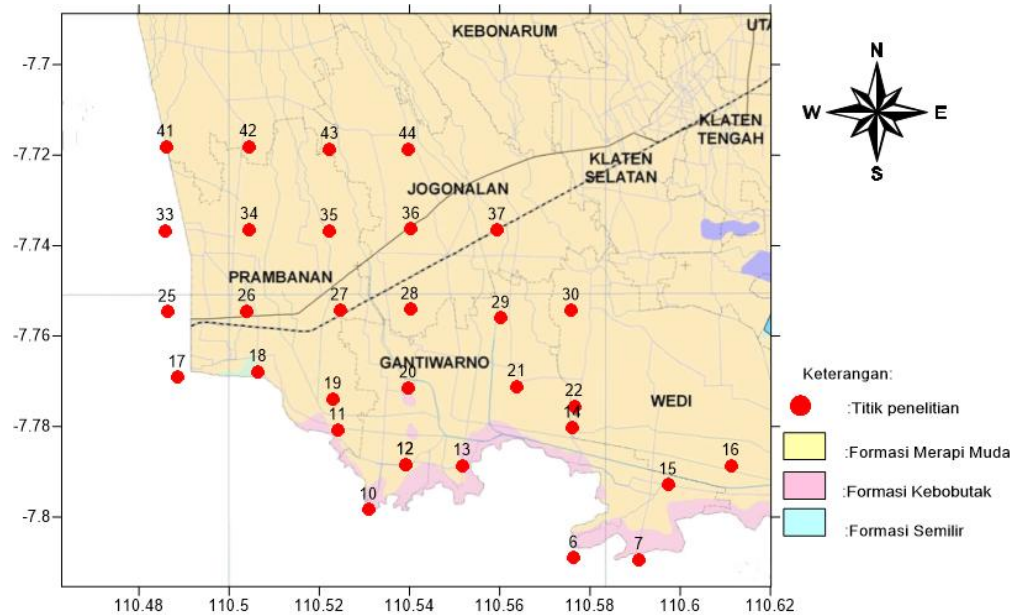


Gambar 11. Peta lokasi pengambilan data

## 2. Survei lapangan

Survei lapangan bertujuan untuk menemukan lokasi titik penelitian yang telah dibuat pada desain survei, menentukan lokasi penempatan sensor sesuai dengan aturan *SESAME European Research Project* pada Tabel 4, sehingga mempermudah pengambilan data. Hasil dari survei lapangan ditetapkan 30 titik sementara titik lainnya tidak dijadikan sebagai titik penelitian dikarenakan lokasi titik tersebut terlalu jauh dari batasan lokasi penelitian. Lokasi titik pengambilan data mengalami pergeseran beberapa meter dikarenakan lokasi awal berada di tengah sawah, di dalam kandang ternak, di pinggir parit, di tengah selokan, di dalam rumah warga, dan di samping jalan raya. Titik

pengukuran mikrotremor setelah dilakukan survei lapangan ditetapkan sebanyak 30 titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Titik pengukuran mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

### 3. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan selama  $\pm 30$  menit setiap titik penelitian dengan frekuensi *sampling* 100 Hz. Pemilihan frekuensi *sampling* harus memenuhi syarat Nyquist yaitu frekuensi *sampling* minimal dua kali lipat dari frekuensi maksimum sinyal informasi yang akan di sampel supaya tidak menimbulkan efek aliasing (frekuensi tertentu terlihat seperti frekuensi yang lain) (Yulisun, 2016). Pengambilan data dilakukan sesuai dengan syarat yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* pada Tabel 4.

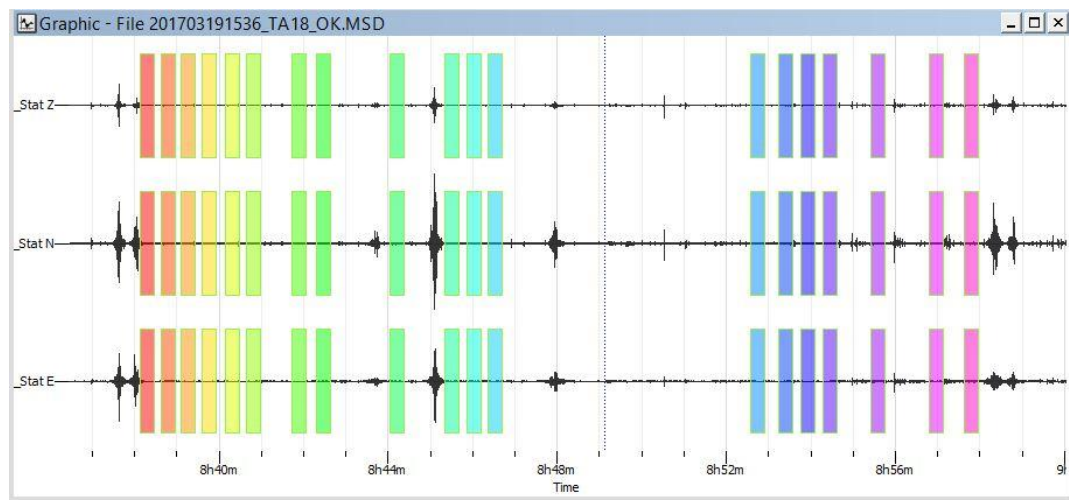
Tabel 4. Syarat pengukuran mikrotremor (SESAME, 2004).

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi pencatatan	<i>fg</i> minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami ( <i>insitu</i> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Atur sensor pada permukaan tanah.</li> <li>2. Hindari penempatan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.</li> </ol>	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau <i>artificial</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pada kemiringan yang curam dimana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir.</li> <li>2. Hindari lempengan yang terbuat dari material seperti karet atau busa.</li> </ol>	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon tinggi jika tiupan angin di atas <math>\pm 5</math> m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSr yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva.</li> <li>2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong.</li> </ol>	
Kondisi Cuaca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Angin: lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s).</li> <li>2. Hujan: hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan yang berarti.</li> <li>3. Suhu: mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik.</li> </ol>	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi.</li> <li>2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.</li> </ol>	

#### D. Teknik Analisis Data

##### 1. Filter gelombang tanpa *noise* menggunakan *Software Geopsy*

Data hasil pengukuran berupa data mentah getaran tanah dalam fungsi waktu. Terdapat dua komponen sinyal mikrotremor, yaitu komponen horizontal (komponen barat-timur dan komponen utara-selatan) dan komponen vertikal. Pemilihan gelombang mikrotremor menggunakan *software Geopsy* dengan melakukan *windowing* dan *cutting* gelombang. Pemilihan *window* dilakukan secara manual dengan panjang *window* 20 s. Sinyal yang sudah dipilih kemudian diubah ke dalam bentuk .xls dengan menggunakan *Command Prompt*. Pemilihan sinyal pada titik 18 ditunjukkan pada Gambar 13.



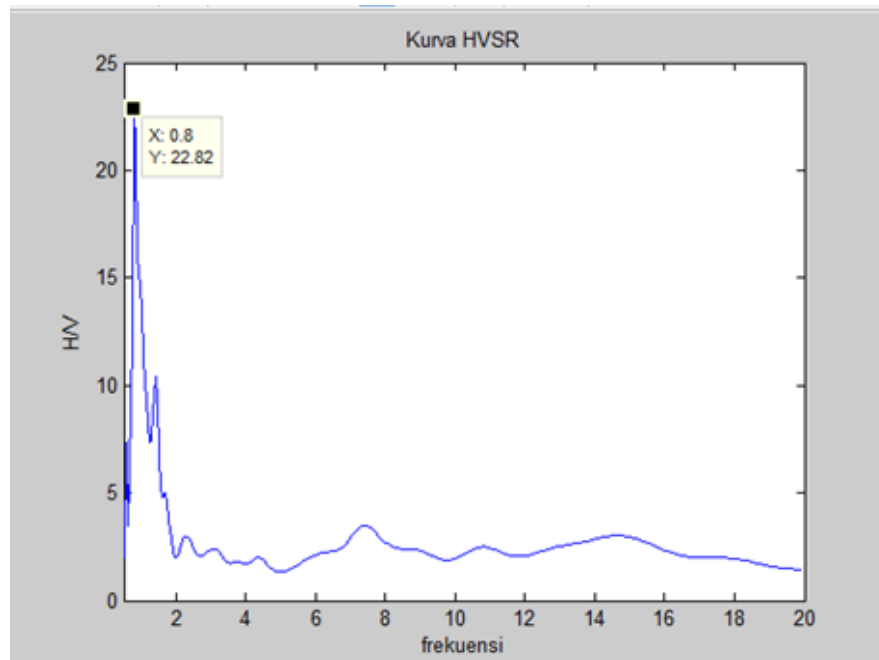
Gambar 13. Contoh pemilihan sinyal pada titik 18.

Setelah proses pemilihan sinyal mikrotremor pada setiap titik pengamatan diperoleh hasil bahwa jumlah *window* di setiap titik pengamatan telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*

(2004) yaitu jumlah *window* minimum yang diperbolehkan sebanyak 10 *window*.

## 2. Analisis data mikrotremor dengan *Fast Fourier Transform* (FFT)

Data yang telah disimpan dalam bentuk .xls diolah dengan menggunakan software MATLAB R2008a. Setiap komponen horizontal dan vertikal dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Selanjutnya hasil dari FFT dilakukan proses *smoothing* dengan metode *Konno-Ohmachi* untuk memperjelas spektrumnya. Data yang telah di *smoothing* kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR sehingga dihasilkan kurva H/V yang memberikan informasi x adalah nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan y adalah faktor amplifikasi ( $A_g$ ) seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Kurva H/V

Kurva H/V harus memenuhi kriteria *reliable* yang mengacu pada standar yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*, sebagai berikut:

- a. Jika *peak* dari kurva H/V terlihat jelas, nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) harus lebih dari  $10/I_w$ , dengan  $I_w$  adalah panjang *window* yaitu sebesar 20 s.
- b. Nilai dari *number of cycles* ( $n_c$ ) harus lebih besar dari 200, dimana  $n_c = I_w n_w f_g$ , dengan  $n_w$  adalah jumlah *window*.
- c. Nilai standar deviasi yang tinggi dari *peak* kurva H/V biasanya diakibatkan oleh adanya gangguan pada saat pengukuran. Oleh sebab itu, dipastikan nilai standar deviasi  $\sigma_A$  harus lebih kecil dari 2 (untuk  $2f_g > 0,5$  Hz) dan 3 (untuk  $2f_g < 0,5$  Hz) dalam batas frekuensi  $0,5f_g$  sampai  $2f_g$

Untuk kriteria *clear peak* terdiri dari enam kriteria yaitu:

- a. Terdapat satu frekuensi ( $f^-$ ) dengan nilai antara  $\frac{f_g}{4} - f_g$  yang memiliki nilai  $A_{H/V} < \frac{1}{2}A_g$ .
- b. Terdapat frekuensi lain ( $f^+$ ) dengan nilai  $f_g - 4f_g$  yang memiliki nilai  $A_{H/V} < \frac{1}{2}A_g$ .
- c. Nilai faktor amplifikasi lebih besar dari 2 ( $A_g > 2$ )
- d. *Peak* dari kurva standar deviasi harus berada pada frekuensi yang sama atau masih dalam batas toleransi 5%.



- e. Nilai standar deviasi ( $\sigma_f$ ) harus lebih rendah dari batas ambang nilai  $threshold \varepsilon(f_g)$ . Nilai  $threshold$  ditunjukkan pada Tabel 5.
- f. Nilai  $\sigma_A(f_g)$  harus lebih rendah dari batas ambang nilai ( $f_g$ ).

Tabel 5. Nilai  $threshold$  untuk keadaan stabil (SESAME, 2004).

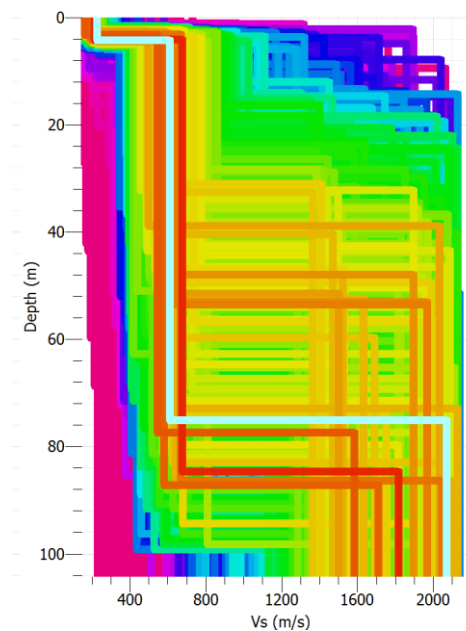
<i>frequency range (Hz)</i>	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	>2
$\varepsilon(f)[Hz]$	$0,25f$	$0,20f$	$0,15f$	$0,10f$	$0,05f$
$\theta(f_g)$ for $\sigma_A(f_g)$	3,0	2,5	2,0	1,78	1,58
$\log \theta(f_g)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_g)$	0,48	0,40	0,30	0,25	0,20

#### E. Analisis Likuifaksi

Hasil dari analisis dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi likuifaksi di daerah penelitian. Dalam menentukan potensi likuifaksi diperlukan nilai *Ground Shear Strain* (GSS). Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan percepatan getaran tanah maksimum ( $a_g$ ) digunakan dalam penentuan nilai GSS. Untuk menentukan indeks kerentanan seismik diperlukan frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A_g$ ) yang diperoleh dari hasil pengolahan HVSR dan menggunakan parameter nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar ( $V_b$ ) dengan menggunakan metode *ellipticity curve* berupa kurva hubungan antara kedalaman lapisan tanah dengan kecepatan gelombang geser seperti ditunjukkan pada Gambar 15. Pengambilan nilai  $V_b$  dilakukan berdasarkan kriteria kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) lebih dari 350

m/s dikarenakan ketika nilai ( $V_s$ )  $>350$  m/s sudah menunjukkan adanya batuan lunak pada lapisan tanah.

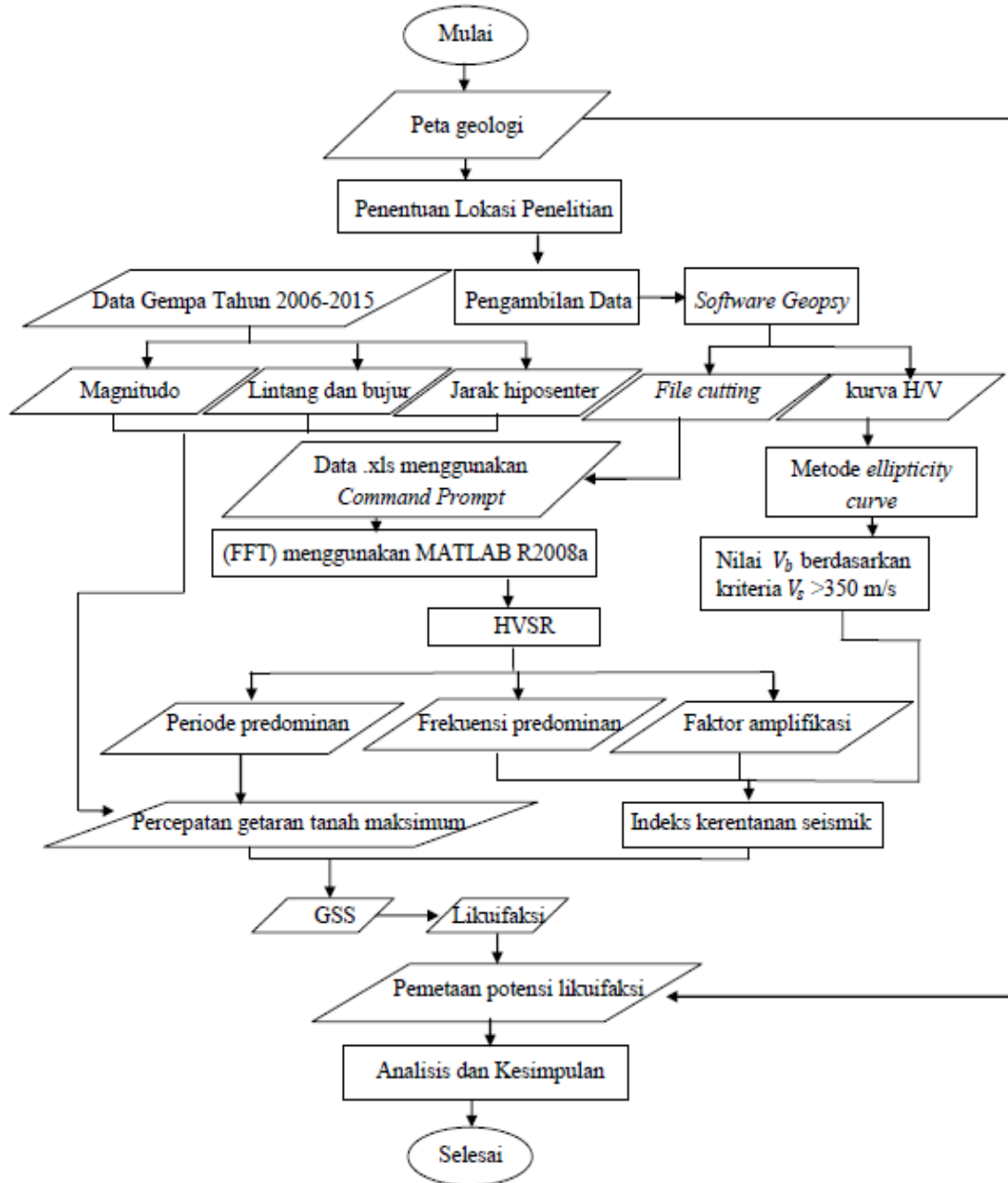
Percepatan getaran tanah maksimum diperoleh dengan cara memasukkan parameter gempa berupa periode dominan ( $T_g$ ), magnitudo ( $M$ ), lintang-bujur pada lokasi gempabumi dan lokasi titik penelitian serta jarak hiposenter ( $R$ ). Jarak hiposenter merupakan jarak dari pusat gempabumi ke titik penelitian. Data gempabumi yang digunakan yaitu data gempa dari BMKG yang terjadi selama 9 tahun dan dirasakan sampai ke Klaten dari tahun 2006 – 2015. Potensi likuifaksi berdasarkan nilai GSS diprediksi dari tabel hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah yang telah ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 15. Kurva hubungan kedalaman lapisan tanah dengan kecepatan gelombang geser.

## F. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram alir penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno merupakan daerah yang mengalami kerusakan cukup parah baik berupa kerusakan infrastruktur maupun korban jiwa yang diakibatkan oleh gempa bumi Yogyakarta 2006. Selain itu, di Kecamatan Prambanan dijumpai adanya fenomena likuifaksi di sekitar Candi Prambanan tepatnya terjadi penurunan permukaan tanah pada Candi Ciwa dimana candi di sekitar Candi Ciwa miring ke sebelah candi utama. Likuifaksi terjadi di suatu wilayah bila lapisan tanah berupa pasir atau lanau yang bersifat lepas (tidak padat), jenuh air dan terkena beban dinamis berupa gempa dengan magnitudo  $>5$  SR dengan percepatan lebih dari  $0,1g$  (Kurniasih *et. al.*, 2017).

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah potensi likuifaksi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno yang kemudian divisualisasikan dalam mikrozonasi nilai GSS. Likuifaksi merupakan salah satu fenomena yang berhubungan dengan nilai GSS ( $\gamma$ ). Perhitungan nilai GSS dilakukan dengan menggunakan persamaan (44). Nilai GSS ( $\gamma$ ) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berdasarkan penelitian berkisar antara  $0,01 \times 10^{-2}$  –  $0,25 \times 10^{-2}$ . Menurut Nakamura (1997), saat GSS ( $\gamma$ ) bernilai  $10^{-2}$  tanah mulai menunjukkan karakter yang tidak linear dan akan mengalami deformasi serta keruntuhan. Nilai GSS ( $\gamma$ ) dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan percepatan getaran tanah maksimum (PGA).

### A. Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ).

Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) merupakan indeks yang menunjukkan kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi. Besarnya indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) menunjukkan besarnya potensi tingkat kerusakan ketika terjadi gempa bumi. Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dipengaruhi oleh faktor amplifikasi ( $A_g$ ), kecepatan pergeseran gelombang pada batuan dasar ( $V_b$ ) dan frekuensi dominan ( $f_g$ ).

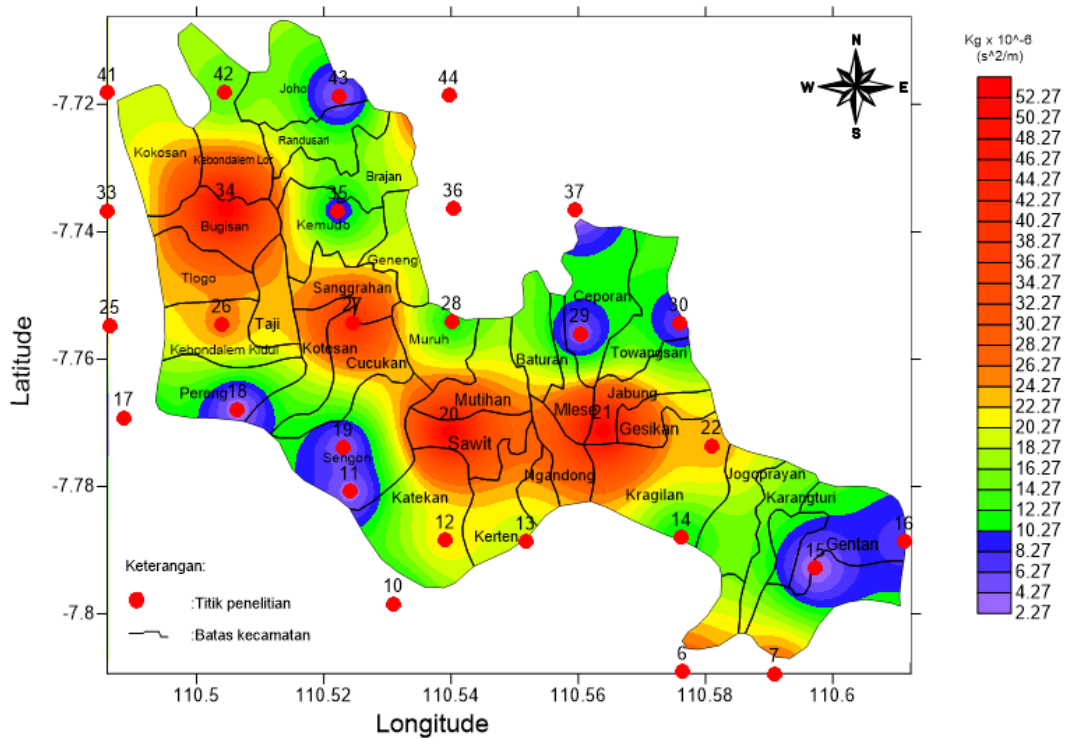
Nilai faktor amplifikasi menunjukkan keberadaan batuan sedimen atau tanah (*soft soil*) permukaan di atas batuan dasar (*basement*). Semakin tebal lapisan sedimen menyebabkan terjadinya penguatan gelombang seismik. Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul bagi gelombang di bawah permukaan, dimana bidang pantul tersebut merupakan batas antara sedimen lepas dengan batuan keras, sehingga semakin kecil nilai frekuensi dominan menunjukkan semakin tebal sedimennya atau semakin dalam bidang pantul tersebut (Efendi, 2017).

Dalam hal ini faktor amplifikasi ( $A_g$ ) berbanding lurus dengan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), semakin besar nilai amplifikasi tanah ( $A_g$ ) maka indeks kerentanan seismik juga tinggi, sementara frekuensi dominan dan kecepatan gelombang geser pada batuan dasar ( $V_b$ ) berbanding terbalik dengan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), jadi ketika frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan kecepatan gelombang geser pada batuan dasar ( $V_b$ ) besar maka indeks kerentanan seismiknya kecil.

Nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan kestabilan struktur tanah, semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik maka tingkat kestabilan struktur tanah semakin kecil, sehingga ketika terkena getaran gempabumi kerusakan yang ditimbulkan cukup besar. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik ditunjukkan pada Gambar 17. Nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berdasarkan penelitian ini berkisar antara  $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  –  $52,52 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Nilai indeks kerentanan seismik kurang dari  $10 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  ditunjukkan dengan warna biru tua. Nilai indeks kerentanan seismik di atas  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  ditunjukkan dengan warna merah.

Nilai indeks kerentanan seismik terendah terdapat pada titik 37 yang berada di sebelah utara Desa Ceporan, sedangkan nilai indeks kerentanan seismik tertinggi terdapat pada titik 34 yang berada di Desa Bugisan. Nilai indeks kerentanan seismik rendah tersebar di bagian selatan Desa Pereng, bagian selatan Desa Sengon, bagian utara Desa Kemudo, Desa Gentan, bagian timur Desa Joho, bagian utara dan bagian selatan Desa Ceporan, bagian selatan Desa Katekan dan bagian barat Desa Pereng.

Nilai indeks kerentanan seismik sedang hingga tinggi tersebar di Desa Bugisan, Desa Kebondalem Kidul, Desa Sawit, Desa Katekan, Desa Kerten, Desa Cucukan, Desa Kragilan, Desa Muruh, sebelah timur Desa Geneng, sebelah barat laut Desa Kokosan, Desa Kebondalem Lor, sebelah selatan Desa Randusari, Desa Kragilan, sebelah barat Desa Kebondalem Kidul, sebelah barat Desa Kokosan dan Desa Jabung.

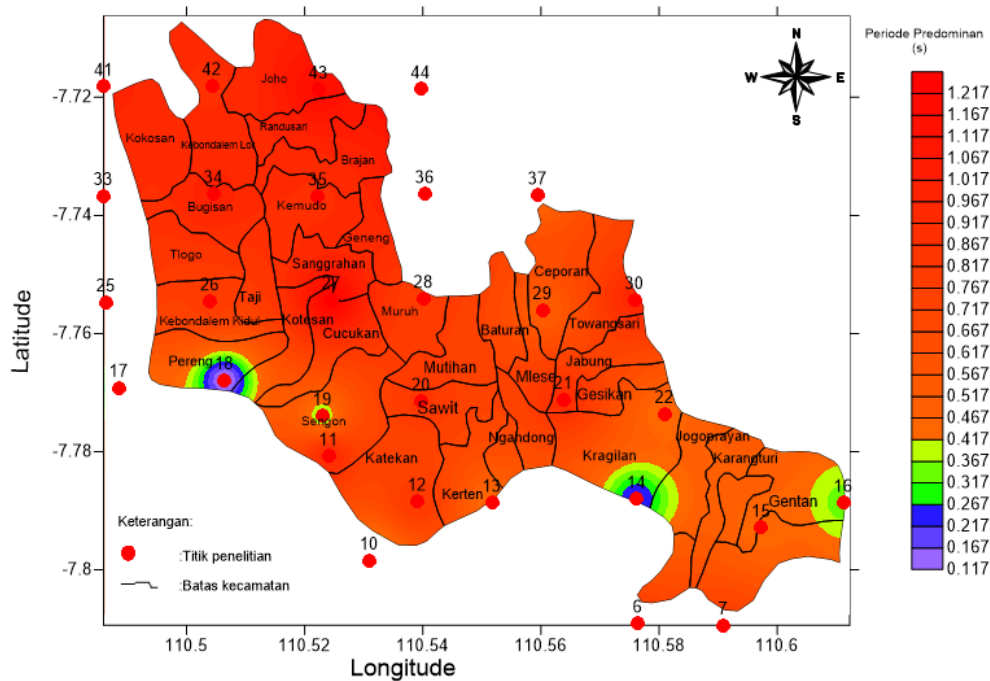


Gambar 17. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

## B. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA).

Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) pada penelitian ini ditentukan dengan metode Kanai berdasarkan persamaan (37). Nilai percepatan getaran tanah maksimum dipengaruhi oleh periode dominan ( $T_g$ ), magnitudo ( $M$ ) dan jarak hiposenter ( $R$ ).

Berdasarkan rumus empiris yang digunakan, nilai periode dominan berbanding terbalik dengan nilai PGA. Jadi ketika nilai periode dominan tinggi, maka nilai PGA yang terjadi rendah dan sebaliknya ketika nilai periode dominan rendah maka nilai PGA yang terjadi tinggi. Mikrozonasi periode dominan ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Mikrozonasi periode dominan ( $T_g$ ) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Pada mikrozonasi di atas nilai periode dominan di bawah 0,25 s ditandai dengan warna biru, nilai periode dominan di atas 0,4 s ditandai dengan warna merah yang berada hampir di seluruh Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Nilai periode dominan di atas 0,4 s mengindikasikan bahwa di daerah tersebut terdapat batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek dengan kedalaman 30 m (Gunawan dan Subardjo, 2005; Pitilakis *et. al.*, 2004).

Percepatan getaran tanah terjadi karena adanya perubahan kecepatan pada lapisan bawah permukaan akibat adanya gempa bumi sehingga menyebabkan tanah yang pada awalnya diam menjadi bergerak dengan kecepatan tertentu. Semakin

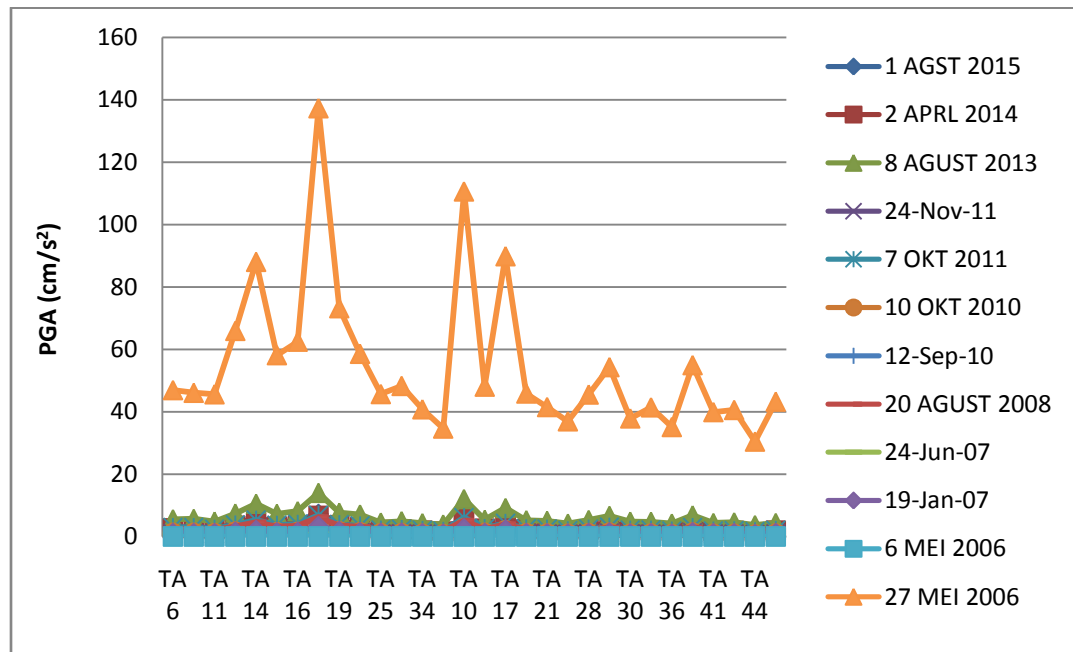


besar nilai PGA yang terjadi akan menyebabkan tanah mengalami pergerakan yang cepat ketika terjadi gempa bumi. Data gempa bumi yang digunakan yaitu gempa bumi yang terjadi selama 9 tahun dan terasa sampai ke daerah Klaten dari tahun 2006 - 2015. Dari data analisis diperoleh nilai PGA tertinggi terjadi pada gempa 27 Mei 2006 dengan kekuatan 5,9 SR yang berepisenter di  $8,03^{\circ}\text{LS} - 110,32^{\circ}\text{BT}$  dengan kedalaman 12 km. Grafik nilai PGA dari tahun 2006 – 2015 ditunjukkan pada Gambar 19.

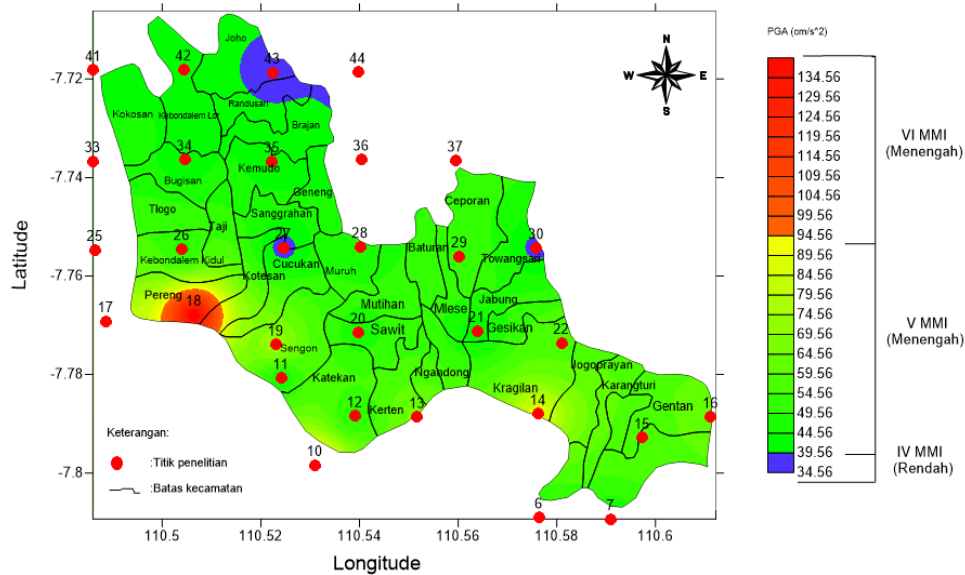
Berdasarkan data gempa bumi pada 27 Mei 2006 diperoleh nilai PGA di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berkisar antara  $34,56 \text{ cm/s}^2 - 137,24 \text{ cm/s}^2$ . Nilai PGA di bawah  $39 \text{ cm/s}^2$  ditandai dengan warna biru, nilai PGA di atas  $92 \text{ cm/s}^2$  ditandai dengan warna merah. Berdasarkan skala tingkat kerawanan terhadap gempa bumi, nilai PGA  $34,56 \text{ cm/s}^2 - 39 \text{ cm/s}^2$  berada pada rentang skala IV MMI. Nilai PGA yang berada pada rentang skala IV MMI berada di Desa Joho (titik 43), Desa Cucukan (titik 27), Desa Towangsari (titik 30) dan sebelah timur Desa Joho (titik 44), dengan efek yang dirasakan ketika terjadi gempa bumi seperti: pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, gerabah pecah, jendela pintu berderik dan dinding berbunyi.

Nilai PGA  $42,24 \text{ cm/s}^2 - 78,21 \text{ cm/s}^2$  berada pada rentang skala V MMI, terjadi di sebagian besar lokasi penelitian yang ditandai dengan warna hijau muda kekuning-kuningan. Efek gempa yang akan dirasakan pada lokasi tersebut seperti: getaran dirasakan di luar rumah oleh hampir semua penduduk, banyak orang

terbangun, barang-barang terpelanting, cairan tumpah, barang besar tampak bergoyang, bandul lonceng dapat berhenti. Nilai PGA  $93,33 \text{ cm/s}^2 - 137,24 \text{ cm/s}^2$  berada pada rentang skala VI MMI, terjadi di beberapa titik pada lokasi penelitian yaitu di Desa Pereng (titik 18), Desa Kragilan (titik 14), sebelah selatan Desa Katekan (titik 10) dan sebelah barat Desa Pereng (titik 17). Efek gempa yang akan dirasakan pada lokasi tersebut seperti: getaran dirasakan oleh semua penduduk, kebanyakan semua terkejut dan lari keluar, jendela retak, furniture bergeser, buku berjatuhan dari rak, plester dinding retak, pohon dan semak berguncang, kerusakan ringan. Secara keseluruhan nilai PGA di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berada pada tingkat kerawanan terhadap gempabumi yang rendah hingga menengah seperti ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 19. Grafik nilai percepatan getaran tanah di setiap titik penelitian dari 12 *event* gempa.



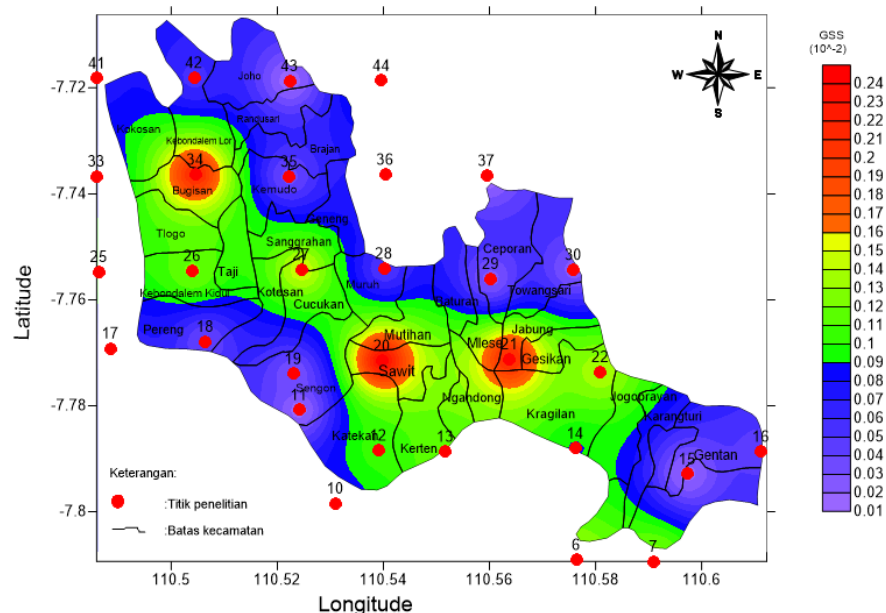
Gambar 20. Mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

### C. *Ground Shear Strain (GSS).*

*Ground Shear Strain (GSS)* dapat menjadi salah satu faktor meningkatnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Semakin tinggi nilai GSS kemungkinan kerusakan yang terjadi semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai GSS kemungkinan kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi juga kecil.

Nilai GSS dipengaruhi oleh indeks kerentanan seismik dan percepatan getaran tanah maksimum, kedua parameter tersebut berbanding lurus dengan nilai GSS. Ketika nilai indeks kerentanan seismik tinggi, dimungkinkan akan terjadi pergeseran tanah saat terjadi gempa bumi dikarenakan tingkat kestabilan struktur tanah yang rendah. Begitupun sebaliknya ketika nilai indeks kerentanan seismik rendah, sedikit kemungkinan terjadi pergeseran tanah dikarenakan kondisi struktur

tanah yang stabil. Ketika nilai PGA tinggi kemungkinan besar akan terjadi pergeseran tanah dikarenakan adanya pergerakan tanah yang cepat ketika terjadi gempa bumi dan sebaliknya ketika nilai PGA rendah, sedikit kemungkinan terjadi pergeseran tanah dikarenakan pergerakan tanah lambat ketika terjadi gempa bumi. Dalam hubungan nilai GSS dengan sifat dinamis tanah pada Tabel 3, diketahui bahwa ketika nilai GSS  $10^{-5} - 10^{-6}$  fenomena yang mungkin terjadi yaitu tanah mengalami gelombang dan getaran saat terjadi gempa bumi. Ketika nilai GSS  $10^{-4} - 10^{-3}$  fenomena yang mungkin terjadi yaitu tanah mengalami retakan dan penurunan. Ketika nilai GSS  $10^{-2} - 10^{-1}$  fenomena yang mungkin terjadi yaitu tanah mengalami penurunan, longsor dan likuifaksi. Salah satu fenomena yang berbahaya ketika terjadi gempa bumi yaitu likuifaksi. Fenomena likuifaksi ditandai dengan amblasnya bangunan, miring maupun longsor. Mikrozonasi nilai GSS ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Mikrozonasi nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Berdasarkan peta mikrozonasi nilai GSS, warna biru menunjukkan nilai GSS rendah yaitu di bawah  $0,09 \times 10^{-2}$  dan warna merah menunjukkan nilai GSS tinggi yaitu di atas  $0,16 \times 10^{-2}$ . Nilai GSS terendah terdapat pada titik 37 yang berada di sebelah utara Ceporan, sedangkan nilai GSS tertinggi terdapat di titik 20 yang berada di Desa Sawit. Nilai GSS  $0,01 \times 10^{-2} - 0,09 \times 10^{-2}$  terdapat di beberapa titik pada lokasi penelitian yaitu di Desa Joho, sebelah barat Desa Kokosan, Desa Kemudo, Desa Muruh, Desa Ceporan, bagian timur Desa Towangsari, Desa Gentan, Desa Sengon, sebelah selatan Desa Katekan, sebelah barat Desa Pereng, sebelah timur Desa Geneng, bagian utara Desa Kebondalem Lor, sebelah utara Desa Ceporan, sebelah barat laut Desa Kokosan, bagian timur Desa Kragilan dan bagian timur Desa Pereng. Fenomena GSS di daerah tersebut yang mungkin terjadi ketika gempa bumi yaitu retakan dan penurunan tanah.

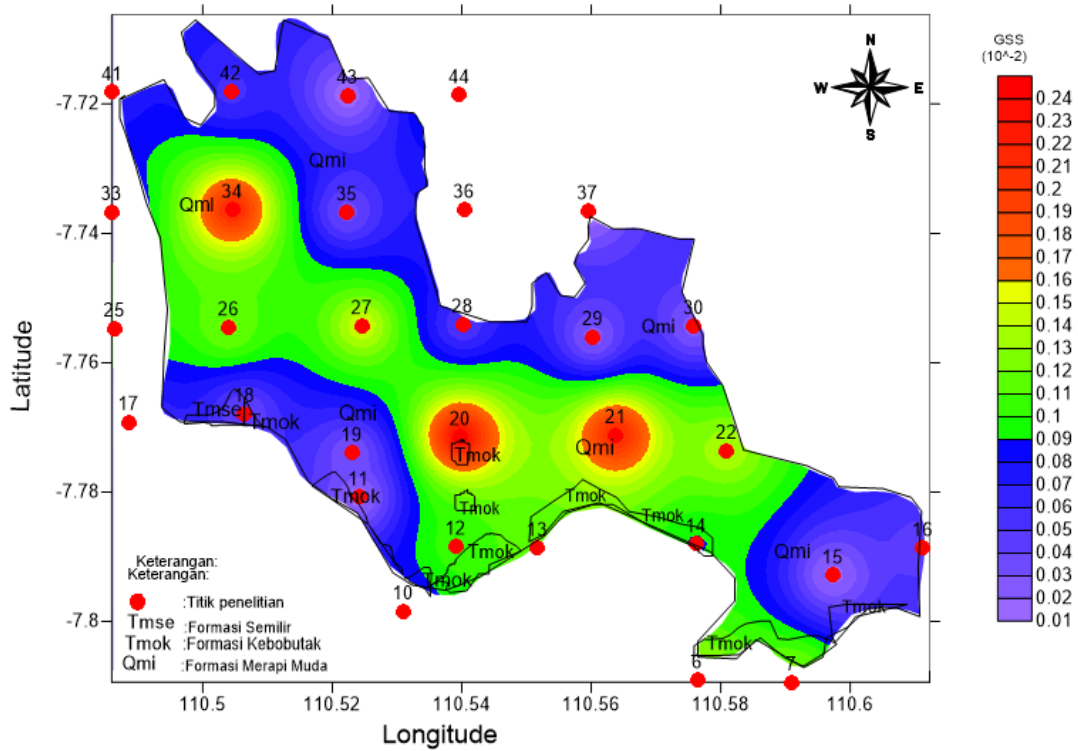
Nilai GSS  $0,09 \times 10^{-2} - 0,16 \times 10^{-2}$  dikategorikan dengan nilai GSS sedang ditandai dengan spektrum warna kuning kehijau-hijauan yang terdapat di Desa Kebondalem Kidul, sebelah selatan Desa Jogoprayan, bagian timur Desa Kebondalem Lor, bagian utara Desa Cucukan, bagian timur Desa Katekan, Desa Kragilan, Desa Kerten, sebelah barat Desa Kokosan, sebelah timur Desa Randusari dan Desa Tlogo. Fenomena yang mungkin terjadi di daerah tersebut ketika gempa bumi yaitu retakan dan penurunan tanah.

Nilai GSS  $0,16 \times 10^{-2} - 0,24 \times 10^{-2}$  terjadi di Desa Bugisan (titik 34), Desa Sawit (titik 20) dan Desa Jabung (titik 21). Fenomena GSS yang mungkin terjadi

ketika gempa bumi yaitu retakan, penurunan tanah, longsor dan likuifaksi tetapi likuifaksi yang terjadi tidak signifikan.

Bencana yang diakibatkan oleh gempa bumi tidak terlepas dari faktor geologi di daerah tersebut. Nilai GSS tinggi tersebar di sebagian daerah yang memiliki susunan formasi geologi berupa Formasi Merapi Muda yang sebagian besar dijadikan tempat permukiman penduduk dan pesawahan, nilai GSS sedang berada di daerah yang memiliki susunan formasi geologi berupa Formasi Merapi Muda dan Formasi Kebobutak. Nilai GSS rendah berada di daerah yang memiliki susunan formasi geologi berupa Formasi Merapi Muda, Formasi Kebobutak dan Formasi Semilir. Formasi Merapi Muda tersusun atas abu, tuf, aglomerat, breksi dan leleran lava tak terpisahkan. Formasi Kebobutak tersusun dari batu pasir berlapis baik, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf dan aglomerat. Formasi Semilir terdiri dari perselingan antara breksi-tuf, breksi batu apung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. Suatu daerah yang memiliki kondisi litologi berupa tuf memiliki risiko dan bahaya yang besar terhadap gempa bumi (Nakamura, 2000), sedangkan di lokasi penelitian didominasi oleh tanah berpasir dan endapan lahar, dimana tanah berpasir merupakan tanah yang rentan terhadap fenomena likuifaksi saat terjadi gempa bumi. Secara keseluruhan nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno belum mencapai  $10^{-2}$ , maka menurut klasifikasi nilai GSS potensi adanya fenomena likuifaksi saat terjadi gempa bumi relatif rendah.

Mikrozonasi nilai GSS yang dioverlay dengan formasi geologi ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Mikrozonasi nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dioverlay dengan formasi geologi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berkisar antara  $0,01 \times 10^{-2} - 0,24 \times 10^{-2}$ . Nilai GSS tertinggi berada di daerah Sawit yaitu  $0,24 \times 10^{-2}$  dan nilai GSS terendah berada di daerah Ceporan yaitu  $0,01 \times 10^{-2}$ .
2. Berdasarkan nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, potensi adanya fenomena likuifaksi relatif rendah dan hanya terjadi di beberapa titik penelitian yaitu di Desa Bugisan (titik 34), Desa Sawit (titik 20) dan Desa Jabung (titik 21) dengan nilai GSS di masing-masing daerah yaitu  $0,21 \times 10^{-2}$ ,  $0,24 \times 10^{-2}$  dan  $0,21 \times 10^{-2}$ .

#### **B. SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dengan menggunakan spasi 2 Km, belum mencakup lokasi yang memiliki nilai GSS tinggi, terlihat pada peta mikrozonasi nilai GSS tinggi hanya berada di beberapa titik saja, untuk penelitian selanjutnya sebaiknya memperluas batasan penelitian yaitu dapat dilakukan dengan wilayah kecamatan yang lain dengan jarak antar titik penelitian lebih dekat agar mendapatkan hasil yang lebih akurat, mengingat Kabupaten Klaten merupakan daerah yang rawan terhadap bencana alam.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. Mulyanto, B.S. Marjiyono & Setyanegara, R. 2014. *Penentuan Zona Rawan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol 2/No. 1.
- Aki, K. & Richards. 2002. *Quantitative Seismology Second Edition*. University Science Sausalito, CA: University Science Books.
- Aulia, A. F. 2013. *Analisa Potensi Soil Liquefaction pada Pipa Gas Bawah Laut di Selat Makasar*. Jurnal Sains dan Seni POMTS Vol. 2, No. 1.
- BAPPEDA. 2006. *Data Bencana Kabupaten Klaten 2009-2013*. Klaten.
- BMKG. 2016. *Data Gempabumi dirasakan di DIY dan sekitarnya*. Yogyakarta.
- Daryono. 2010. *Aktifitas Gempabumi Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010*. Yogyakarta: BMKG.
- Dewi, E. R. 2013. *Analisis Ground Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Dharmawan, I. A. Agustina, R & Komariah, M. 2009. *Gelombang dan Aplikasinya*. Materi Perkuliahan. Bandung: UNPAD.
- Douglas, J. 2011. *Ground Motion Prediction Equations 1964-2010*. London. South Kensington Campus Press.
- Efendi, Y. 2017. *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) dan Mikrozonasi Kota Surabaya Menggunakan Inverse Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR)*. Skripsi: Universital Lampung.
- Elnashai, Amr S. & Sarno, Luigi D. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. UK: John Wiley & Son.
- Fauzi. 2010. *Analisis Data Seismogram untuk Menentukan Parameter Magnitude Gempabumi*. Skripsi. UIN Syarif Hidayatullah.
- IAGI (Ikatan Ahli Geologi Indonesia).2006. *Tanya Jawab Gempa@Yogya-Jateng 27 Mei 2006*. Yogyakarta: PERHIMAGI.

- Fah, D. Kind, F. Girandini. 2006. *A Theoretical Investigation of Average H/V Ratio*. Swiss: Geophysical Jurnal International.
- Gunawan, I & Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Halliday, D. 1978. *Physics, 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Havskov, J. 2002. *New Manual of Seismological Observatory Practice-NMSOP*.  
Di akses dari  
[ftp://ftp.ingv.it/pub/elisabetta.danastasio/grot/manual\\_seismological\\_observatory\\_2002.pdf](ftp://ftp.ingv.it/pub/elisabetta.danastasio/grot/manual_seismological_observatory_2002.pdf) pada tanggal 3 Juni 2017.
- Ihsan, M. 2008. *Analisa Ketahanan Gempa Pada Struktur Rumah Tradisional Sumatra*. Skripsi. Jakarta: UI.
- Kanai. 1983. *Seismology and Engineering*. Japan. Tokyo University.
- Kapojos, C. G. Tamuntuan, G. Pasau, G. 2015. *Analisis Percepatan Maksimum dengan Menggunakan Rumusan Esteva dan Donovan ( Studi Kasus Pada Semenanjung Utara Pulau Sulawesi)*. Jurnal Ilmiah Sains Vol. 15 No.2.
- Karyono. Syafri, I. Abdurrokhman. 2016. *Kajian Kerentanan Tanah Berdasarkan Analisis HVSR di Daerah Semburan Lumpur Sidoarjo dan Sekitarnya, Jawa Timur, Indonesia*. Bandung: UNPAD.
- Kirbani. 2012. *Mitigasi Bencana Gempabumi*. Yogyakarta: Pusat Studi Bencana: UGM.
- Kanai. 1966. *Improved Empirical Formula For Characteristics Of Stray [sic] Earthquake Motion*. Pages 1-4 Of: Proceedings Of The Japanese Earthquake Symposium. Not Seen. Reported In Trifunac & Brady (1975).
- Kanai, K. 1983. *Seismology and Engineering*. Tokyo University. Japan.
- Kayal, J. R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. New York: Spinger.
- Kholis, N. 2015. *Karakteristik Mikrotremor di Permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kawasan Karst Gunung Sewu, Berdasarkan Analisis Spektrum, Horizontal to Pertical Spectral Ratio (HVSR), dan Time Frequency Analipsis (TFA)*. Skripsi: UNY.

- Kurniasih, T.W. Rifa'I, A. Suryolelono, K.B. 2017. *Analisis Ketahanan Tanah Dasar Fondasi Candi Prambanan Terhadap Ancaman Likuifaksi Bedasar Simplified Prodecure*. Jurnal Politeknologi Vol, 16 No. 1 Januari 2017.
- Loan, C.E.V. and Pitsiamis, N. 1992. *Approximation with Cronecker Products*. New York: Department Of Computer Science Cornell University.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Mirzaoglu, M. 2003. *Application of microtremors to seismic microzonasing procedure*. Balkan: journal of the Balkan geophysical, Vol. 6. No 3p.
- Mukti, K. 2011. *Eksperimen Ripple Tank*. Surakarta: UNS Surakarta.
- Muntohar, A. S. 2010. *Mikrozonasi Potensi Likuifaksi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Penelitian Dosen. Yogyakarta: UMY.
- Najoan, T. F. Soeroso, D. Rukhijat, S. 1996. *Peta Zona Gempa dan Cara Penggunaannya Sebagai Usulan dalam Perencanaan Bangunan, Pengairan Tanahn Gempa*. Jurnal Litbang Air, no. 36.
- Nakamura, Y. 1989. *A method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Tachnical Research Institute (RTRI). Vol.3. No.1.
- Nakamura, Y. 1997. *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congres on Research Institute.
- Nakamura, Y. 2000. *Real-Time Information System for Hazards Mitigation*. Japan: Tokyo University.
- Nakamura, Y. 2008. *On the H/V Spectrum*. Beijing: The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering.
- Natawidjaja. 2016. Misteri patahan sumber gempa yogya 2006. Diakses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/misteri-patahan-sumber-gempa-yogya-2006/>. Pada tanggal 16 April 2017.
- Novianta, M. A. dan Setyaningsih, E. 2015. *Rancang Bangun Sistem Deteksi Dini Gempabumi Berdasarkan Fluktuasi Medan Magnet Menggunakan Sensor MEMS*. Purwokerto: UMP.

- Pakaya, Rustam. 2007. *Laporan Penanggulangan Krisis Akibat Bencana di Indonesia Tahun 2006*. Jakarta: Pusat Penanggulangan Krisis Departemen Kesehatan RI.
- Park, T.H. 2010. *Introduction to Digital Signal Processing, Computer Musically Speaking*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Pitilakis, K. Gazepis. Anastasiadis, A. 2004. *Design Signal Processing, Computer Musically Speaking*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Priscilia. Bekti. R. D. Irwansyah, E. 2012. *Metode Levenberg-Marquardt dan Brute-Force pada Pemodelan Ground Motion Atenuation Berbasis Komputer*. Universitas Bina Nusantara.
- Riyanto,S. 2009. *Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation In Time (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian Hal. F223-F231.
- Sari, M. A. 2016. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Intensitas Gempabumi di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- SESAME. 2004. *Guiddeliens For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Siahaan, S. M. 2012. *Penggunaan Teknologi Informasi dan Komunikasi dalam Pembelajaran Fisika*. Porsiding Seminar Fisika 2012. Universitas Sriwijaya.
- Sulistiyani. 2012. *Kajian Terhadap Indeks Bahaya Seismik Regional Menggunakan Data Seismik di Pulau Jawa dari Tahun 1900-2006*. Skripsi.UNS.
- Supartoyo. Oman, A. Kurnia, A. 2016. *10 Tahun Gempa Yogyakarta*. Diakses Dari: <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/10-tahun-gempa-yogyakarta/pada> 12 april 2017.
- Surono. 2008. *Litostratigrafi dan Sedimentasi Formasi Kebo dan Formasi Butak di Pegunungan Baturagung, Jawa Tengah Bagian Selatan*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 No. 4.
- Suryolelono, K. B. 2007. *Candi Prambanan Pasca Gempa Bumi* . Universitas Gadjah Mada. Fom Teknik Sipil No.XVII/3-September 2007.

- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Skripsi. USU.
- Tan, Li. 2008. *Digital Signal Processing Fundamentals and Applications*. San Francisco: Elsevier.
- Taufana, A. 2013. *Pemetaan Kerentanan Daerah Potensi Likuifaksi, Akibat Gempabumi Tektonik Studi Kasus Daerah Desa Panjangrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Naskah Publikasi. Semarang: UNDIP.
- Telford, W. M. Geldart, L. P. Sheriff, R. E. 2004. *Applied geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Tohari, A. Sugianti, K. Syahbana, A. J. 2015. *Kerentanan Likuifaksi Wilayah Kota Banda Aceh Berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus*. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Wald, D.J. Quitoriani, V. Heaton, H.H. 1999. *Relationship Between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*. Vol. 15 No. 3.
- Wiendartun. 2011. Gelombang. Materi Perkuliahan. Bandung: UPI. Diakses dari [http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR. PEND. FISIKA/195708071982112-WIENDARTUN/12-Gelombang.pdf](http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._FISIKA/195708071982112-WIENDARTUN/12-Gelombang.pdf) pada tanggal 20 Juni 2017.
- Yulisun. 2016. *ADC dan Sinyal Diskrit*. Diakses dari: [http://yulisun.staff.telkomuniversity.ac.id/files/2016/06/003\\_ACD-DAC.pdf](http://yulisun.staff.telkomuniversity.ac.id/files/2016/06/003_ACD-DAC.pdf) pada 17 Oktober 2017.
- Zakaria, Z. 2007. *Aplikasi Tektonik Lempeng Dalam Sumber Daya Mineral, Energi dan Kewilayahan. Bulletin of Scientific Contribution*. Vol. 5 No. 2.

### Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

Titik	Bujur (°)	Lintang (°)	$f$ (Hz)	$A$	$V_b$ (m/s)	$Kg \times 10^{-6}$ (s <sup>2</sup> /cm)	PGA (Metode Kanai) (cm/s <sup>2</sup> )
10	110,5310	-7,7984	5,80	7,309	1316,060	7,098	110,576
12	110,5391	-7,7884	1,20	3,250	414,450	21,540	48,002
17	110,4886	-7,7691	3,75	6,024	1715,130	5,722	89,810
20	110,5398	-7,7715	1,20	7,389	893,000	51,675	45,801
21	110,5638	-7,7711	1,10	7,641	1038,472	51,839	41,454
27	110,5246	-7,7543	0,80	5,715	1025,067	40,395	36,882
28	110,5402	-7,7541	1,30	4,122	1187,303	11,163	45,475
29	110,5603	-7,7560	2,00	3,869	1628,280	4,662	54,258
30	110,5759	-7,7543	1,05	2,857	1156,840	6,816	37,818
35	110,5223	-7,7367	1,10	3,128	1051,298	8,581	41,364
36	110,5404	-7,7364	0,85	3,347	763,300	17,512	35,054
37	110,5595	-7,7366	2,25	2,875	1638,100	2,274	54,893
41	110,4860	-7,7182	1,00	4,444	1055,200	18,982	39,842
42	110,5043	-7,7181	1,10	3,994	1046,800	14,051	40,524
44	110,5397	-7,7186	0,70	5,990	1162,641	44,715	30,387
6	110,5764	-7,8090	1,25	6,105	1035,360	29,209	46,885
7	110,5910	-7,8094	1,30	6,511	1202,830	27,497	46,032
11	110,5241	-7,7808	1,05	2,022	1282,000	3,080	45,549
13	110,5517	-7,7887	2,40	7,613	1336,850	18,321	65,869
14	110,5762	-7,7880	4,85	8,669	1555,080	10,107	87,996
15	110,5974	-7,7928	2,30	2,974	1366,990	2,853	58,091
16	110,6112	-7,7886	2,90	4,765	1099,350	7,223	62,418
18	110,5065	-7,7679	9,50	6,697	1744,500	2,745	137,245
19	110,5231	-7,7739	2,80	4,290	1657,800	4,021	73,149
22	110,5810	-7,7736	2,35	9,010	1480,780	23,661	58,531
25	110,4864	-7,7547	1,05	3,448	480,531	23,898	45,623
26	110,5040	-7,7545	1,26	4,600	672,985	25,370	48,231
34	110,5046	-7,7364	1,00	6,035	703,242	52,528	40,735
43	110,5224	-7,7186	0,85	1,795	964,586	3,986	34,569
33	110,4859	-7,7367	1,05	4,404	1163,800	16,098	43,197

## Lampiran 2. Nilai PGA Berdasarkan Data Gempabumi Tahun 2006-2015

### PGA Menggunakan Metode Kanai (1966)

Nilai PGA (cm/s <sup>2</sup> ) Berdasarkan Data Gempabumi BMKG								
Titik	2015	2014	2013	2011	2010	2008	2007	2006
6	2,8493	2,5915	5,5619	2,9070	1,1372	2,3763	1,0798	46,8851
7	3,0083	2,5465	5,6744	2,9244	1,1161	2,4167	1,0590	46,0323
11	2,4585	2,3097	4,8265	2,4009	1,0562	2,1057	1,0909	45,5496
13	3,9717	3,4713	7,3996	3,7543	1,5569	3,2083	1,5519	65,8691
14	6,1022	4,6809	10,5313	5,2571	2,0868	4,5358	2,0648	87,9996
15	4,3635	3,1226	7,3033	3,6144	1,3847	3,1314	1,3545	58,0912
16	5,1629	3,3281	8,1467	3,9200	1,4804	3,4824	1,4593	62,4177
18	7,2020	6,6527	14,0142	6,7964	3,105	6,2259	3,3558	137,2454
19	4,0835	3,6588	7,6747	3,8119	1,6823	3,4044	1,7643	73,1485
22	4,5663	3,0403	7,0881	3,4397	1,3684	3,0876	1,3892	58,5309
25	2,2925	2,1006	4,5165	2,1120	1,0030	2,0333	1,1431	45,6231
26	2,6875	2,2792	4,9472	2,3412	1,0745	2,2212	1,1957	48,2305
34	2,5097	1,8738	4,3020	1,9460	0,8920	1,9295	1,0258	40,7350
43	2,6002	1,5825	3,8851	1,6892	0,7530	1,7315	0,8748	34,5698
10	5,5888	5,8437	12,0194	6,0810	2,6264	5,0775	2,5955	110,5763
12	2,69782	2,5057	5,3972	2,6562	1,1300	2,2724	1,1351	48,0018
17	4,2204	4,2454	9,1610	4,2312	2,0087	3,9250	2,2160	89,8101
20	2,8609	2,3183	5,2615	2,4774	1,0583	2,2155	1,1002	45,8011
21	2,9819	2,1306	5,0545	2,3557	0,9642	2,1119	0,9893	41,4542
27	2,3251	1,7864	4,1719	1,8837	0,8314	1,7676	0,9052	36,8822
28	3,1507	2,2346	5,3276	2,4041	1,0321	2,2480	1,1092	45,4751
29	4,1921	2,7130	6,6422	2,9936	1,2420	2,7872	1,3127	54,2577
30	3,2348	1,9001	4,8077	2,1380	0,8673	2,0089	0,9126	37,8185
35	2,8318	1,9437	4,7467	2,0597	0,9156	2,0212	1,0317	41,3642
36	2,6880	1,6747	4,1798	1,8124	0,7822	1,7717	0,8677	35,0539
37	4,7298	2,6602	6,8155	2,9424	1,2335	2,8752	1,3494	54,8934
41	2,4060	1,7439	4,3554	1,7952	0,8479	1,8826	1,0300	39,8417
42	2,7339	1,8166	4,5794	1,9042	0,8732	1,9716	1,0358	40,5237
44	2,5499	1,4135	3,6770	1,5362	0,6673	1,5679	0,7629	30,3868
33	2,3791	1,9367	4,3603	1,9710	0,9338	1,9809	1,1001	43,1970

**Lampiran 3. GSS dan Fenomena yang Terjadi dari Nilainya.**

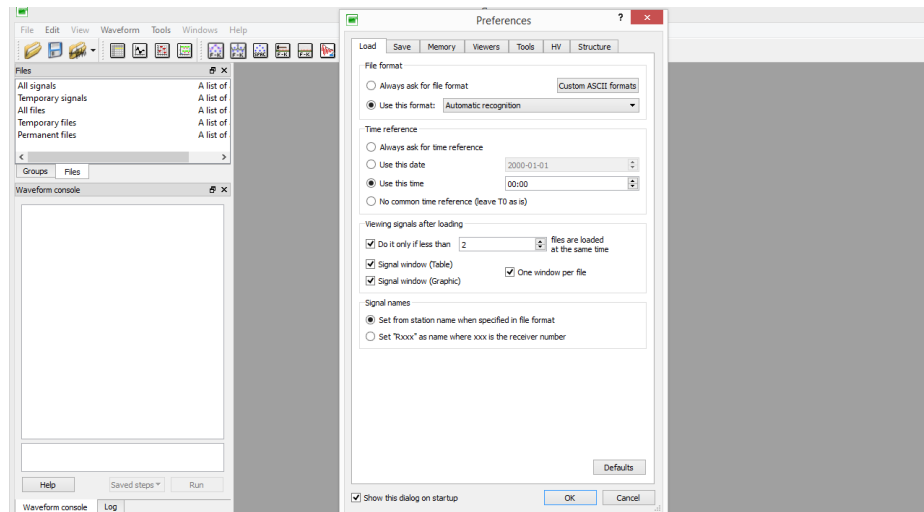
Titik	Bujur (°)	Lintang (°)	GSS (input PGA Kanai)	Fenomena
10	110,5310	-7,79840	0,000784	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
12	110,5391	-7,78843	0,001034	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
17	110,4886	-7,76916	0,000514	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
20	110,5398	-7,77147	0,002367	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
21	110,5638	-7,77114	0,002148	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
27	110,5246	-7,75433	0,001489	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
28	110,5402	-7,75411	0,000508	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
29	110,5603	-7,75600	0,000253	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
30	110,5759	-7,75431	0,000258	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
35	110,5223	-7,73674	0,000354	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
36	110,5404	-7,73636	0,000614	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
37	110,5595	-7,73657	0,000125	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
41	110,486	-7,71817	0,000756	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
42	110,5043	-7,71806	0,000569	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
44	110,5397	-7,71862	0,001359	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
6	110,4859	-7,73668	0,001369	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
7	110,5764	-7,80904	0,001266	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
11	110,5241	-7,80938	0,000140	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
13	110,5241	-7,78075	0,001207	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
14	110,5517	-7,78865	0,000889	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
15	110,5762	-7,78803	0,000166	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
16	110,5974	-7,79284	0,000451	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
18	110,6112	-7,78863	0,000377	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
19	110,5065	-7,76787	0,000291	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
22	110,5231	-7,77395	0,001384	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
25	110,581	-7,77356	0,001090	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
26	110,4864	-7,75467	0,001223	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
34	110,504	-7,75453	0,002139	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
43	110,5046	-7,73637	0,000138	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah
33	110,5224	-7,71865	0,000695	Getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah



#### Lampiran 4. Analisis Menggunakan *Software Geopsy*.

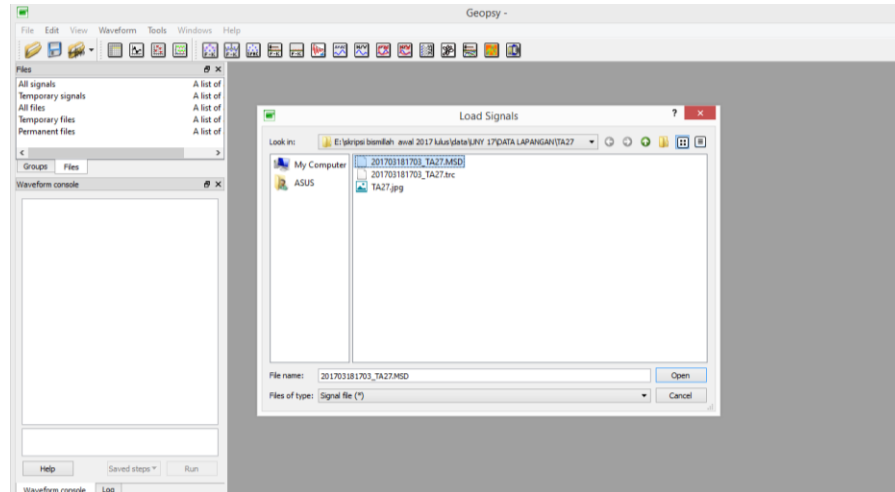
Analisis mikrotremor menggunakan *software Geopsy* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuka *software Geopsy*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L1.



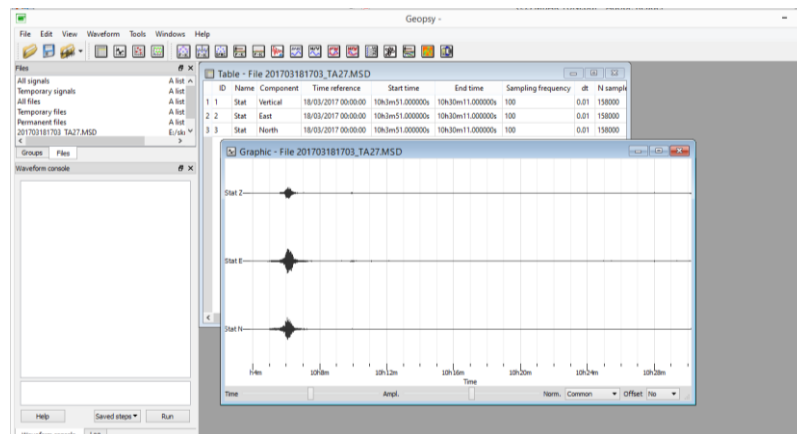
Gambar L1. Tampilan awal *software Geopsy*.

2. Klik OK pada jendela *preferences*
3. Pada menu *file*, pilih *import signal* akan muncul tampilan jendela *load signals* tempat *file* data mikrotremor tersedia. Pilih *file* dalam format *.msd* lalu klik *open* seperti ditunjukkan pada Gambar L2.



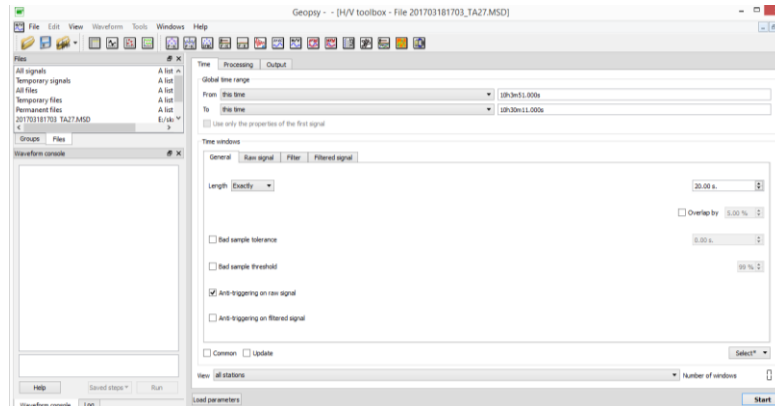
Gambar L2. Tampilan pemilihan data dalam format .msd.

4. *File* yang dibuka akan muncul 3 buah sinyal yang terdiri dari 1 komponen vertikal dan 2 komponen horizontal (utara-selatan dan barat-timur) seperti di bawah ini:



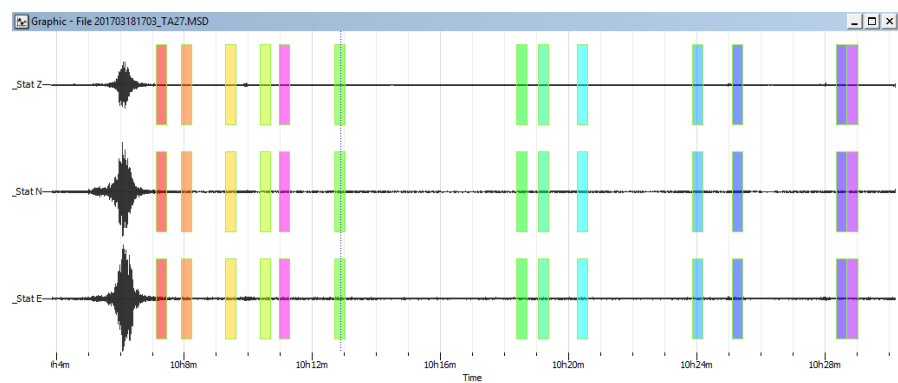
Gambar L3. Tampilan komponen sinyal.

5. Klik *icon H/V* yang tertera pada *toolbox software*, maka akan muncul *H/V toolbox* seperti di bawah ini:



Gambar L4. Tampilan menu kotak *H/V toolbox*.

6. Pada kotak *H/V toolbox* terdapat pilihan *Time*, *Processing* dan *Output*. Untuk *Time* pilih pengaturan *length windows* 20.00 s dan pilih *add* untuk melakukan pemilihan sinyal tanpa *noise* yang digunakan saat analisis menggunakan *MATLAB R2008a*. Kemudian jumlah sinyal yang dipilih akan tertera pada *Number of windows*. Untuk *Processing* pilih *smoothing type Konno & Ohmachi*. Untuk *Output* atur *Frequency sampling* 0.50 Hz sampai 20.00 Hz dengan *Number of samples* 100. Kemudian klik *start*, maka akan muncul seperti Gambar L5.



Gambar L5. Tampilan hasil awal proses sinyal.

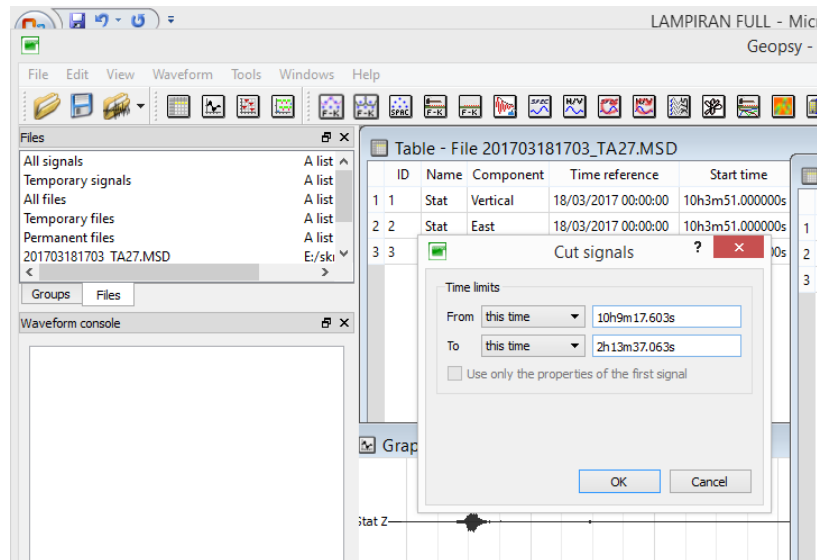
7. Masing-masing *window* menunjukkan durasi waktu 20 s. Untuk mengetahui waktu pertama pada masing-masing *window* yang menunjukkan pada detik ke-*n* dari seluruh waktu perekaman mikrotremor: Klik kanan pilih *zoom* lalu perbesar area pojok kiri bawah pada panjang *window* hingga garis waktu berada tegak lurus terhadap pojok kiri panjang *window*, maka akan muncul waktu pertama dari waktu yang dipilih sebagai sinyal tanpa *noise*, seperti ditunjukkan pada Gambar L6.



Gambar L6. Tampilan hasil sinyal saat di *zoom*.

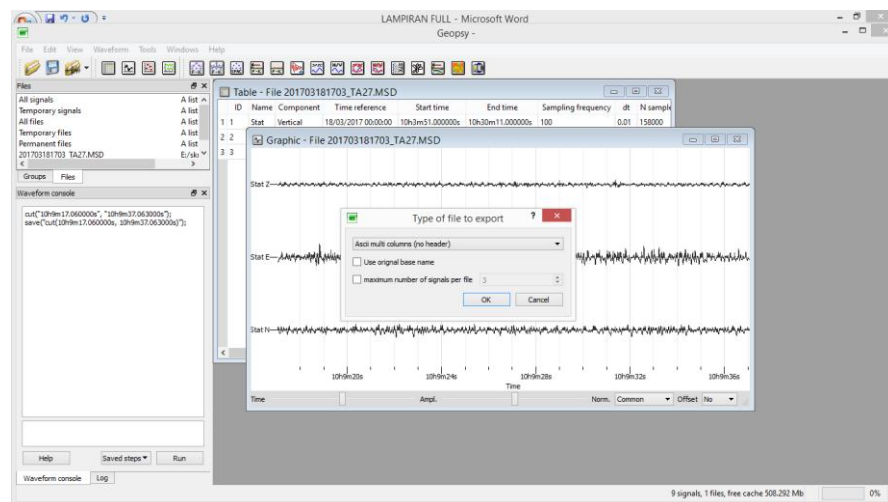
8. Mencatat waktu pertama dari masing-masing *window* kemudian menutup aplikasi *software Geopsy*.
9. Mengulangi langkah ke-4 kemudian klik *Waveform* pilih *cut*. Pada kotak kecil *cut signals* pilih *this time* pada *Time limits from* ketik waktu pertama *window* tersebut kemudian jumlahkan waktu pertama dengan 20 s. Hasil penjumlahan

tersebut diketik pada *Time limits* to sebagai waktu akhir window tersebut. Kemudian klik OK. Seperti ditunjukkan pada Gambar L7.



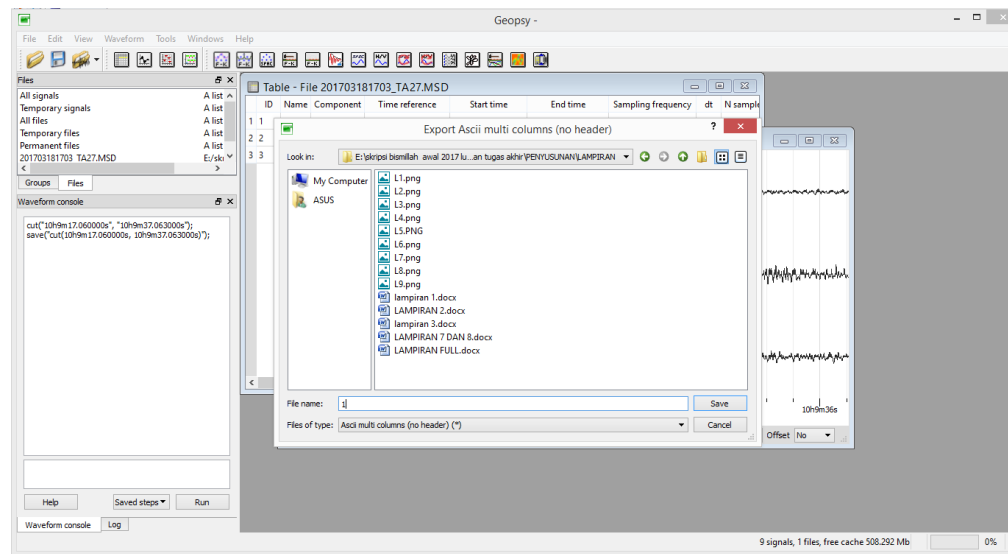
Gambar L7. Tampilan proses *cut signal*.

10. Untuk menyimpan hasil *cut* gelombang setiap *window* ke dalam format text (.txt), klik *file* pilih *export*. Pada kotak kecil *Type of to export* pilih format *Ascii multi columns* lalu klik OK seperti di bawah ini:



Gambar L8. Tampilan proses *type of file to export*.

11. Pada kotak kecil *Export Ascii multi columns* pilih lokasi penyimpanan lalu ketik nama file “1” yang menunjukkan *window* ke-1, klik *save* seperti ditunjukkan pada Gambar L9.



Gambar L9. Tampilan penyimpanan file hasil *cut* sinyal.

12. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran yang dilakukan di setiap titik lokasi penelitian.

## Lampiran 5. Program Analisis Matlab

### A. Program pemanggil komponen sinyal.

```
clc; clear all;clf;
%=====Komponen
V=====
    x=xlsread('V.xlsx');
    P=2000;          %panjang window

PW=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 ];
%Matriks potongan data window
jumlah_window=length(PW);

for i=1:length(PW);
    s=0;
    W=x((PW(i)*P)+1:(PW(i)+1)*P);
    [hasil_fft]=fft_64(W);
    s = s + hasil_fft;
end
S=s/jumlah_window;
fs=100;
N=length(W);
k=0:1:(N-1);
fx=(fs/N)*k';
f=fx'
St=S';
%===== Smoothingnya=====
b=40;
[S1]=smooth_spektrum(St,f,b);
S1t=S1';
%=====Plotnya=====
%plot(f(1:400),St(1:400),'b'); hold on;
plot(f(1:400),S1(1:400),'r');
end
```

### B. Program Fast Fourier Transform

```
function [hasil]=fft_64(W)
    %W adalah sinyal input
N=length(W);    %Jumlah data sinyal
r=64;    %radix 64
k=0:(N/r)-1;
n=0:N-1;

%=====FFT RADIX 64=====
```

```

z1=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r)/N)*W(r*k+1)';
z2=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+1)/N)*W(r*k+2)';
z3=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+2)/N)*W(r*k+3)';
z4=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+3)/N)*W(r*k+4)';
z5=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+4)/N)*W(r*k+5)';
z6=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+5)/N)*W(r*k+6)';
z7=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+6)/N)*W(r*k+7)';
z8=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+7)/N)*W(r*k+8)';
z9=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+8)/N)*W(r*k+9)';
z10=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+9)/N)*W(r*k+10)';
z11=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+10)/N)*W(r*k+11)';
z12=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+11)/N)*W(r*k+12)';
z13=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+12)/N)*W(r*k+13)';
z14=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+13)/N)*W(r*k+14)';
z15=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+14)/N)*W(r*k+15)';
z16=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+15)/N)*W(r*k+16)';
z17=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+16)/N)*W(r*k+17)';
z18=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+17)/N)*W(r*k+18)';
z19=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+18)/N)*W(r*k+19)';
z20=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+19)/N)*W(r*k+20)';
z21=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+20)/N)*W(r*k+21)';
z22=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+21)/N)*W(r*k+22)';
z23=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+22)/N)*W(r*k+23)';
z24=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+23)/N)*W(r*k+24)';
z25=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+24)/N)*W(r*k+25)';
z26=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+25)/N)*W(r*k+26)';
z27=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+26)/N)*W(r*k+27)';
z28=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+27)/N)*W(r*k+28)';
z29=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+28)/N)*W(r*k+29)';
z30=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+29)/N)*W(r*k+30)';
z31=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+30)/N)*W(r*k+31)';
z32=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+31)/N)*W(r*k+32)';
z33=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+32)/N)*W(r*k+33)';
z34=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+33)/N)*W(r*k+34)';
z35=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+34)/N)*W(r*k+35)';
z36=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+35)/N)*W(r*k+36)';
z37=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+36)/N)*W(r*k+37)';
z38=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+37)/N)*W(r*k+38)';
z39=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+38)/N)*W(r*k+39)';
z40=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+39)/N)*W(r*k+40)';
z41=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+40)/N)*W(r*k+41)';
z42=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+41)/N)*W(r*k+42)';
z43=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+42)/N)*W(r*k+43)';
z44=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+43)/N)*W(r*k+44)';
z45=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+44)/N)*W(r*k+45)';
z46=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+45)/N)*W(r*k+46)';
z47=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+46)/N)*W(r*k+47)';
z48=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+47)/N)*W(r*k+48)';
z49=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+48)/N)*W(r*k+49)';
z50=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+49)/N)*W(r*k+50)';
z51=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+50)/N)*W(r*k+51)';
z52=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+51)/N)*W(r*k+52)';
z53=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+52)/N)*W(r*k+53)';
z54=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+53)/N)*W(r*k+54)';

```



```

z55=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+54)/N)*W(r*k+55)';
z56=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+55)/N)*W(r*k+56)';
z57=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+56)/N)*W(r*k+57)';
z58=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+57)/N)*W(r*k+58)';
z59=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+58)/N)*W(r*k+59)';
z60=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+59)/N)*W(r*k+60)';
z61=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+60)/N)*W(r*k+61)';
z62=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+61)/N)*W(r*k+62)';
z63=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+62)/N)*W(r*k+63)';
z64=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+63)/N)*W(r*k+64)';

z=z1+z2+z3+z4+z5+z6+z7+z8+z9+z10+z11+z12+z13+z14+z15+z16+z17+z18+z
19+z20+z21+z22+z23+z24+z25+z26+z27+z28+z29+z30+z31+z32+z33+z34+
z35+z36+z37+z38+z39+z40+z41+z42+z43+z44+z45+z46+z47+z48+z49+z50
+z51+z52+z53+z54+z55+z56+z57+z58+z59+z60+z61+z62+z63+z64;

hasil=abs(2*z/N);

end

```

### C. Program *smoothing* Konno-Ohmachi

```

function [smooth_window]=konno_ohmachi_smoothing_window(f,f_c,b)
    %f == matrix frekuensi
    %fc == center frequency
    %b == konno-ohmachi bandwidth
    l=length(f);
    %apabila f_c=0 buat matriks 0 sepanjang l, kecuali suku
    pertama yg
    %bernilai 1
    if f_c==0
        smooth_window=zeros(1,l);
        smooth_window(1)=1;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    else
        smooth_window=(sin(b*log10(f./f_c))./(b*log10(f./f_c).^4);
        %mengganti inf dengan 1
        posisi_fc= f==f_c;
        smooth_window(posisi_fc)=1;
        %mengganti NaN dengan 0
        posisi_NaN= isnan(smooth_window);
        smooth_window(posisi_NaN)=0;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    end
end

```

#### D. Program *plotting* kurva HVSR

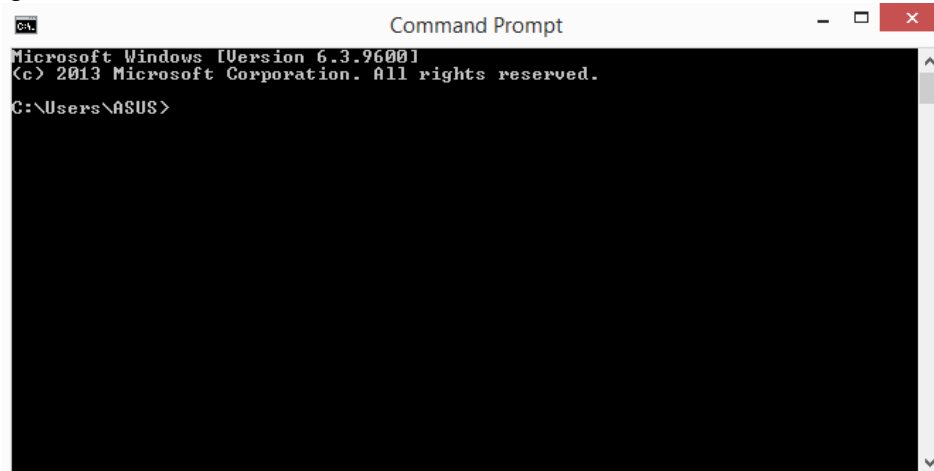
```
clc; clear all;clf;
x=xlsread('HVSR.xlsx');
fs=100;
N=length(x);
k=0:1:(N-1);
f=(fs/N)*k'

plot(f(1:400),x(1:400));
title('Kurva HVSR');
xlabel('frekuensi'); ylabel('H/V');
xlim([0.5 20]);
```

## Lampiran 6. Analisis Mikrotremor dengan *Software MATLAB R2008a*.

Analisis mikrotremor menggunakan bantuan *software MATLAB R2008a* bertujuan untuk mencari kurva *H/V*. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Save* hasil *cutting* dalam satu folder untuk masing-masing titik pengamatan.
2. Menekan tombol *window* + R. lalu ketik *cmd*, kemudian akan muncul jendela seperti gambar berikut:



Gambar L10. Tampilan awal *Command Prompt*.

3. Setelah jendela di atas muncul, tuliskan perintah dengan urutan sebagai berikut:
  - a. Mengetik *local disk* penyimpanan hasil *cutting* sinyal dengan diakhiri tanda titik dua (:), lalu tekan *enter*.
  - b. Mengetik *cd* (spasi) "*paste copy address*", lalu tekan *enter*.
  - c. Mengetik *copy/b* (spasi)  $1+2+3+4\ldots+n$  (spasi) *filename.xls*, dengan *n* adalah banyaknya *cutting* atau *number of window* dari masing-masing titik penelitian

dan *filename.xls* adalah nama *file* yang disimpan dalam format *Excel Workbook* (.xls), lalu tekan *enter* dan akan muncul tampilan seperti di bawah ini:

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
SMILLAH\TA 11\CUTTING 11"
E:\skripsi bismillah awal 2017 lulus\data\UNY 17\KURUA HU GEOPSY\FIX BISMILLAH\
TA 11\CUTTING 11>copy/b 1+2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12+13+14+15+17+18 titik11.xls
1 file(s) copied.
E:\skripsi bismillah awal 2017 lulus\data\UNY 17\KURUA HU GEOPSY\FIX BISMILLAH\
TA 11\CUTTING 11>

```

Gambar L11. Input *Command Prompt*.

4. Membuka *file* yang telah diubah ke dalam format *Excel Workbook .xls* menggunakan *software Microsoft Excel*, sehingga muncul tampilan sebagai berikut:

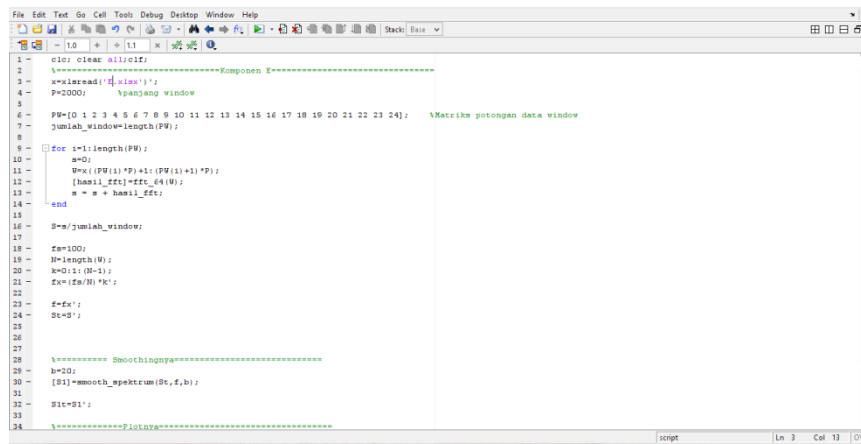
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	-125	179	-123																		
2	181	682	-488																		
3	461	416	-124																		
4	583	-105	-247																		
5	519	348	-697																		
6	194	-141	-70																		
7	-167	-348	228																		
8	-183	649	-411																		
9	-60	1130	-385																		
10	27	890	-280																		
11	171	807	-717																		
12	171	687	-226																		
13	61	805	130																		
14	-3	500	-543																		
15	-80	848	-175																		
16	-89	861	477																		
17	-207	1002	176																		
18	-275	770	500																		
19	-159	513	789																		
20	-30	599	183																		
21	-21	577	259																		
22	-51	499	98																		
23	133	1313	-612																		
24	258	1458	-432																		

Gambar L12. Tampilan tiga nilai komponen sinyal.

5. Kolom A menunjukkan *file* data SHZ, kolom B menunjukkan *file* data SHE, dan kolom C menunjukkan data SHN. Data mikrotremor yang tadinya hanya

pada satu *file* saja dipisahkan menjadi tiga *file* sehingga dua komponen horizontal terpisah dengan komponen vertikal. Simpan file dengan format E.xls untuk komponen *East-West*, N.xls untuk komponen *North-South* dan V untuk komponen vertikal.

6. Untuk menganalisis tiap komponen dengan cara *FFT* digunakan program *radix* yang terdiri dari *smoothing*, *FFT\_64*, dan program pemanggil.



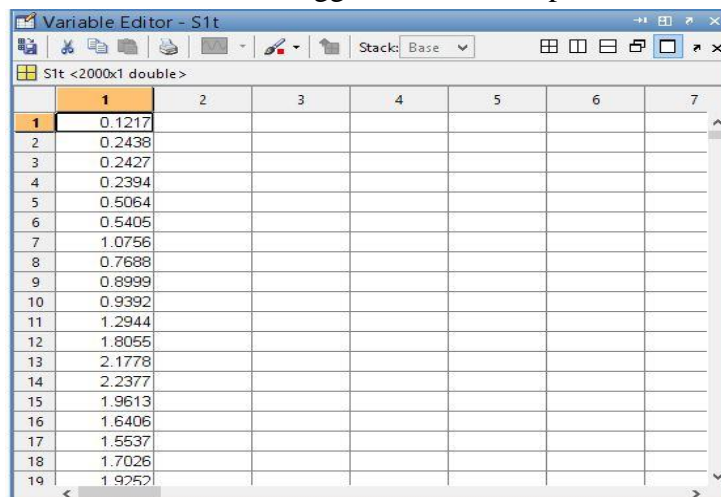
```

1  clear all;
2  %=====Komponen E=====
3  x=load('E.xls');
4  P=2000; %panjang window
5
6  PW=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24]; %Matriks potongan data window
7  jumlah_window=length(PW);
8
9  for i=1:length(PW);
10     w=0;
11     Wx=(PW(i)*P)+1:(PW(i)+1)*P;
12     [hansii_fft]=fft_64(W);
13     s = s + hansii_fft;
14 end
15
16 S=s/jumlah_window;
17
18 fs=100;
19 N=length(W);
20 k=0:1:(N-1);
21 Fx=(2k/N)*K;
22
23 f=Fx;
24 Sx=S;
25
26
27 %===== Smoothing=====
28 b=20;
29 [S1]=smoothspektrum(Sx,f,b);
30
31 S1t=S1;
32
33 %=====Plotting=====

```

Gambar L13. Input program Matlab

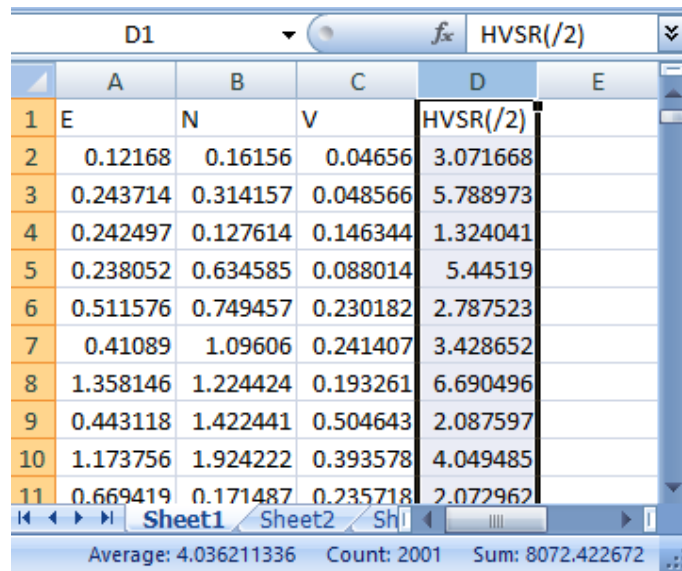
7. Ketiga program tersebut di-run secara bergantian sehingga pada *command window* akan muncul nilai *FFT* menggunakan *radix* seperti berikut:



	1	2	3	4	5	6	7
1	0.1217						
2	0.2438						
3	0.2427						
4	0.2394						
5	0.5064						
6	0.5405						
7	1.0756						
8	0.7688						
9	0.8999						
10	0.9392						
11	1.2944						
12	1.8055						
13	2.1778						
14	2.2377						
15	1.9613						
16	1.6406						
17	1.5537						
18	1.7026						
19	1.9252						

Gambar L14. Nilai *FFT* komponen sinyal.

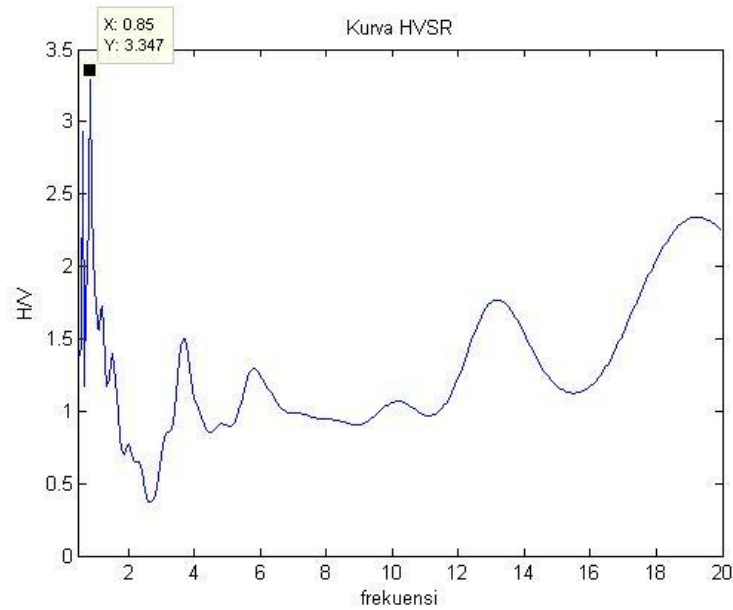
8. *Copy*-kan tiga komponen nilai hasil *FFT* pada *command window* tersebut pada *Microsoft Excel* pada satu *worksheet*. Setelah itu hitung nilai HVSR dari ketiga komponen tersebut, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:



	A	B	C	D	E
1	E	N	V	HVSR(/2)	
2	0.12168	0.16156	0.04656	3.071668	
3	0.243714	0.314157	0.048566	5.788973	
4	0.242497	0.127614	0.146344	1.324041	
5	0.238052	0.634585	0.088014	5.44519	
6	0.511576	0.749457	0.230182	2.787523	
7	0.41089	1.09606	0.241407	3.428652	
8	1.358146	1.224424	0.193261	6.690496	
9	0.443118	1.422441	0.504643	2.087597	
10	1.173756	1.924222	0.393578	4.049485	
11	0.669419	0.171487	0.235718	2.072962	

Gambar L15. Nilai *FFT* tiga komponen sinyal dan HVSR

9. Untuk memperoleh kurva *H/V* dilakukan dengan cara *plotting* menggunakan *software MATLAB R2008a*.
10. *Copy paste* terlebih dahulu nilai HVSR pada *worksheet* baru dan simpan dengan nama HVSR.xls.
11. Membuka program HVSR pada Matlab kemudian di-run, sehingga akan muncul hasil *plotting* seperti di bawah ini:



Gambar L16. Grafik hasil analisis Matlab.

12. Dari grafik hasil *plot* akan diperoleh nilai amplifikasi pada sumbu y dan nilai periode dominan pada sumbu x.
13. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran di setiap titik pengamatan.

**Lampiran 7. Criteria reliable Curve dan Clear Peak SESAME European Research Project.**

Titik	$N_w$	$f_g$	$A_g$	Criteria for reliable curve			Criteria for a clear H/V peak					
				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
6	36	1,25	6,105	V	V	V	-	-	V	-	V	V
7	13	1,30	6,511	V	V	V	-	V	V	V	V	V
10	21	5,80	7,309	V	V	V	-	V	V	-	V	-
11	18	1,05	2,022	V	V	V	-	-	V	-	-	V
12	21	1,20	3,250	V	V	V	V	V	V	V	V	V
13	15	2,40	7,613	V	V	V	-	-	V	-	V	V
14	25	4,85	8,669	V	V	V	-	-	V	-	V	V
15	25	2,30	2,974	V	V	-	-	-	V	-	-	V
16	19	2,90	4,765	V	V	V	-	V	V	V	V	V
17	23	3,75	6,024	V	V	V	-	-	V	V	V	V
18	19	9,50	6,697	V	V	V	V	-	V	-	-	V
19	24	2,80	4,290	V	V	V	-	V	V	-	V	V
20	12	1,20	7,389	V	V	V	-	V	V	-	V	V
21	12	1,10	7,641	V	V	V	-	V	V	V	V	-
22	20	2,35	9,010	V	V	-	-	V	V	-	V	-
25	15	1,05	3,448	V	V	V	-	V	V	-	-	V
26	20	1,26	4,600	V	V	V	-	V	V	-	-	V
27	13	0,80	5,715	V	V	V	-	-	V	-	V	V
28	14	1,30	4,122	V	V	V	-	-	V	-	V	V
29	13	2,00	3,869	V	V	V	-	V	V	-	V	V
30	19	1,05	2,857	V	V	V	-	V	V	-	V	V
33	18	1,05	4,404	V	V	V	V	V	V	-	-	V
34	15	1,00	6,035	V	V	V	-	V	V	-	V	V
35	12	1,10	3,128	V	V	V	-	V	V	V	V	V
36	21	0,85	3,347	V	V	V	-	V	V	V	V	V
37	23	2,25	2,875	V	V	V	-	V	V	V	V	V
41	22	1,00	4,444	V	V	V	-	V	V	-	V	V
42	22	1,10	3,994	V	V	V	-	V	V	-	V	V
43	19	0,85	1,795	V	V	V	-	V	V	-	-	V
44	15	0,70	5,999	V	V	V	-	V	V	-	V	V

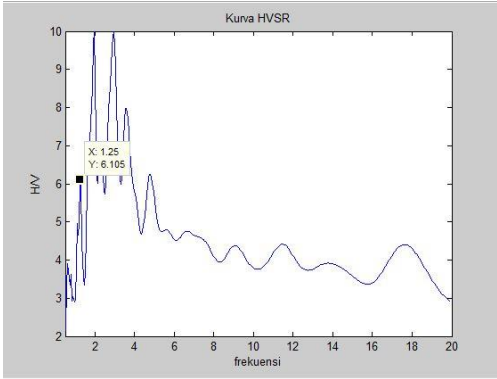
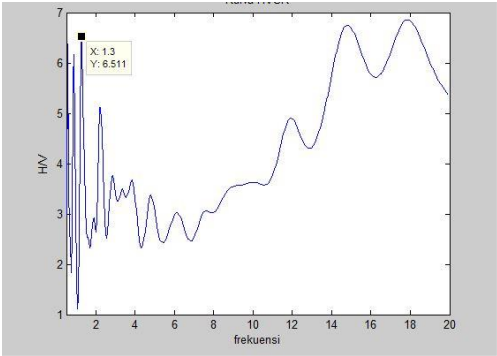
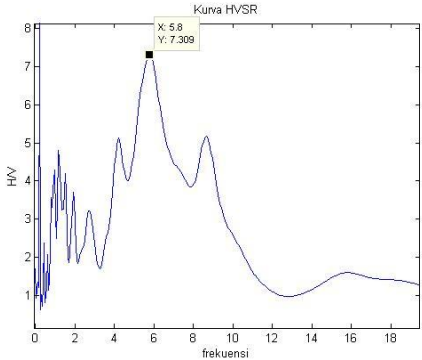


Keterangan Syarat:

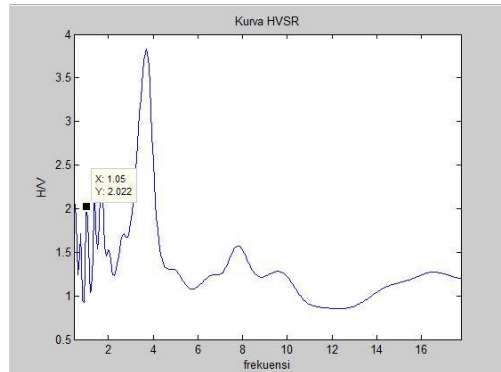
No	Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Reliable</i>
i)	$f_0 > 10/l_w$
ii)	$n_{c>200}$
iii)	$\sigma_A < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0,5$ Hz atau
	$\sigma_A < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 < 0,5$ Hz atau
No	Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Clear Peak</i>
i)	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0]   A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
ii)	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0]   A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
iii)	$A_0 > 2$
iv)	$f_{peak} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Tanda (V) menunjukkan syarat terpenuhi, dan tanda (-) menunjukkan syarat tidak terpenuhi.

## Lampiran 8. Grafik HVSr Analisis Mikrotremor

Titik 6	
	<p>fg= 1,25 Ag= 6,105</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,25&gt;0,5</li> <li>1125&gt;200</li> <li>1,928322&lt;2</li> <li></li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4,019639&lt;3,0525</li> <li>6,58483&lt;3,0525</li> <li>6,105&gt;2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>0,06455&lt;0,3125</li> <li>1,928322&lt;3</li> </ol>
Titik 7	
	<p>fg= 1,3 Ag= 6,511</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,3&gt;0,5</li> <li>439,4&gt;200</li> <li>1,371185&lt;2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3,447091&lt;3,2555</li> <li>3,239747&lt;3,2555</li> <li>6,511&gt;2</li> <li>Terpenuhi</li> <li>0,05&lt;0,325</li> <li>1,371185&lt;3</li> </ol>
Titik 10	
	<p>fg = 5,8 Ag= 7,309</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5,8 &gt; 0,5</li> <li>2436&gt;200</li> <li>1,62 &lt; 2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3,7339 &lt; 3,6545</li> <li>2,1293 &lt; 3,6545</li> <li>7,309 &gt; 2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>0,1947 &lt; 0,29</li> <li>1,62 &lt; 1,58</li> </ol>

### Titik 11



fg= 1,05  
Ag= 2,022

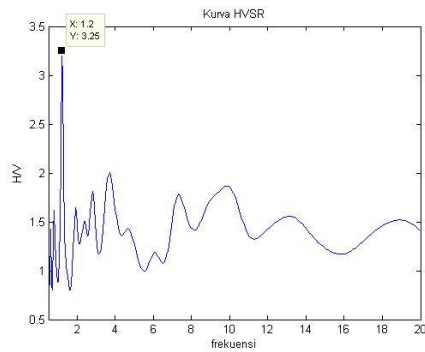
#### Kriteria Reliable

- i. 1,05 > 0,5
- ii. 396,9 > 200
- iii. 1,564623 < 2

#### Kriteria Clear Peak

- i. 3,033322 < 1,011
- ii. 5,558224 < 1,011
- iii. 2,022 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. - < 0,325
- vi. 1,564623 < 3

### Titik 12



fg = 1,2  
Ag= 3,25

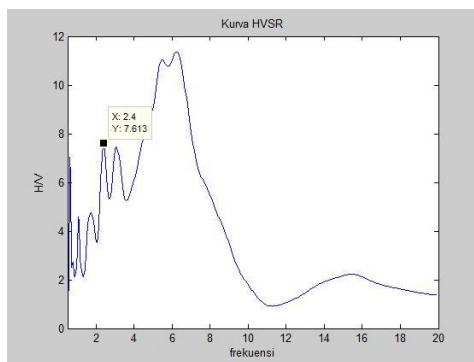
#### Kriteria Reliabel

- i. 1,2 > 0,5
- ii. 504 > 200
- iii. 0,537 < 2

#### Kriteria Clear Peak

- i. 1,375 < 1,625
- ii. 1,459 < 1,625
- iii. 3,52 > 2
- iv. Terpenuhi
- v. 0,035 < 0,12
- vi. 0,537 < 1,78

### Titik 13



fg= 2,4  
Ag= 7,613

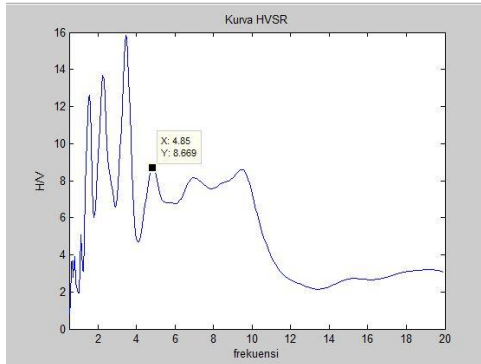
#### Kriteria Reliable

- i. 2,4 > 0,5
- ii. 1728 > 200
- iii. 1,635069 < 2

#### Kriteria Clear Peak

- i. 4,050709 < 3,8065
- ii. 7,082437 < 3,8065
- iii. 7,613 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. 0,093541 < 0,6
- vi. 1,635069 < 3

### Titik 14



fg= 4,85

Ag= 8,669

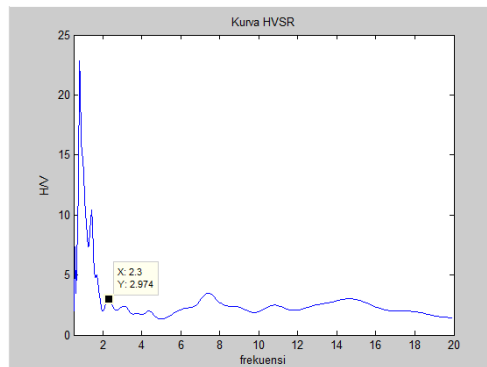
Kriteria Reliable

- i. 4,85>0,5
- ii. 11761,25>200
- iii. 1,891713<2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 8,878764<4,3345
- ii. 4,687055<4,3345
- iii. 8,669>2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. 0,165831<1,2125
- vi. 1,891713<3

### Titik 15



fg= 2,3

Ag= 2,974

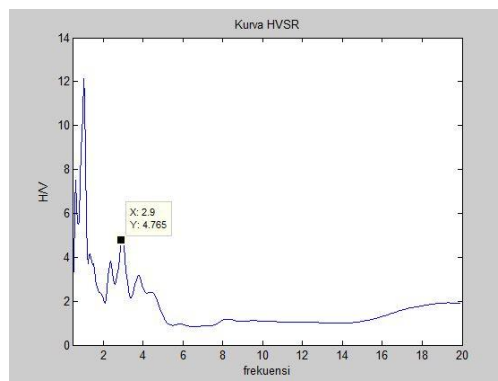
Kriteria Reliable

- i. 2,3>0,5
- ii. 2645>200
- iii. 2,14615>2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 7,45 <1,487
- ii. 2,241<1,487
- iii. 2,974>2
- vii. Tidak terpenuhi
- iv. -<0,5575
- v. 2,14615<3

### Titik 16



fg= 2,9

Ag= 4,765

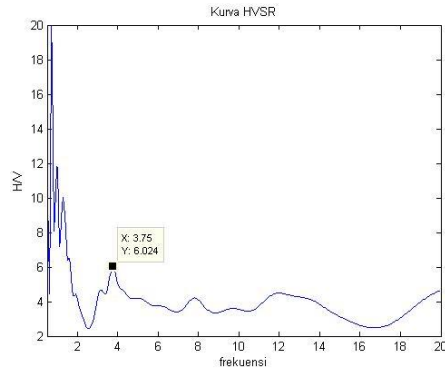
Kriteria Reliable

- i. 2,9>0,5
- ii. 3195,8>200
- iii. 1,002656<2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 4,227685<2,3825
- ii. 1,418106<2,3825
- iii. 4,765>2
- iv. Terpenuhi
- v. 0,122474<0,725
- vi. 1,002656<3

### Titik 17



fg = 3,75

Ag = 6,024

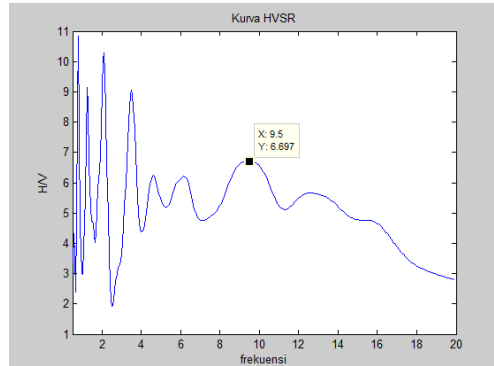
Kriteria Reliabel

- i. 3,75 > 0,5
- ii. 1725 > 200
- iii. 0,7455 < 2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 5,22 < 3,012
- ii. 3,915 < 3,012
- iii. 6,024 > 2
- iv. Terpenuhi
- v. 0,1224 < 0,1875
- vi. 0,7455 < 1,58

### Titik 18



fg = 9,5

Ag = 6,697

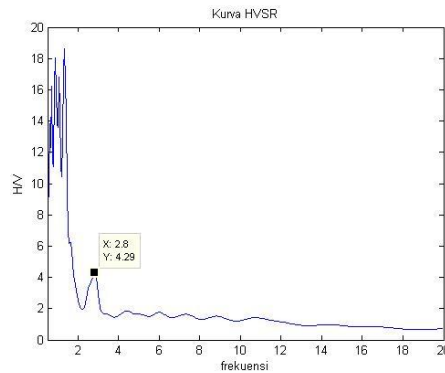
Kriteria Reliable

- i. 9,5 > 0,5
- ii. 34295 > 200
- iii. 0,295772 < 2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 1,671701 < 2,83
- ii. 2,900093 < 2,83
- iii. 6,697 > 2
- vii. Tidak terpenuhi
- iv. < 2,375
- v. 0,295772 < 3

### Titik 19



fg = 2,8

Ag = 4,29

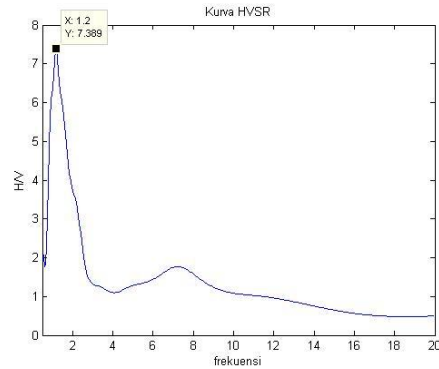
Kriteria Reliable

- i. 2,8 > 0,5
- ii. 1344 > 200
- iii. 1,974144377 < 2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 7,575729 < 2,145
- ii. 1,582833 < 2,145
- iii. 4,29 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. 0,108012 < 0,7
- vi. 1,974144377 < 3

### Titik 20



$$fg = 1,2$$

$$Ag = 7,389$$

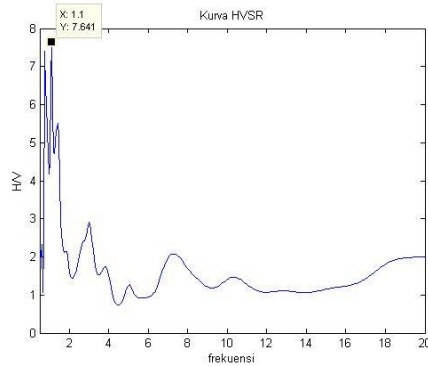
Kriteria Reliabel

- i.  $1,2 > 0,5$
- ii.  $288 > 200$
- iii.  $1,638 < 2$

Kriteria *Clear Peak*

- i.  $4,016 < 3,6945$
- ii.  $2,4805 < 3,6945$
- iii.  $7,389 > 2$
- iv. Tidak terpenuhi
- v.  $0,05 < 0,12$
- vi.  $1,638 < 1,78$

### Titik 21



$$fg = 1,1$$

$$Ag = 7,641$$

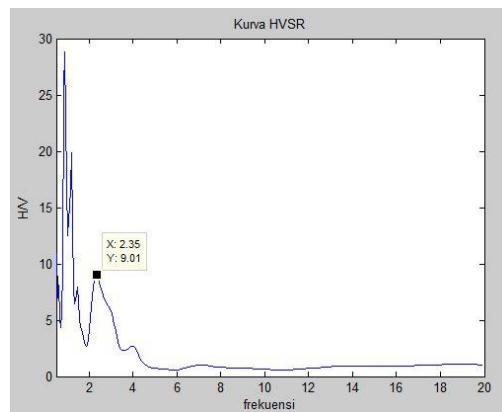
Kriteria Reliabel

- i.  $1,1 > 0,5$
- ii.  $264 > 200$
- iii.  $1,975 < 2$

Kriteria *Clear Peak*

- i.  $4,885 < 3,8205$
- ii.  $2,3242 < 3,8205$
- iii.  $7,641 > 2$
- iv. Terpenuhi
- v.  $0,05 < 0,11$
- vi.  $1,975 < 1,78$

### Titik 22



$$fg = 2,35$$

$$Ag = 9,01$$

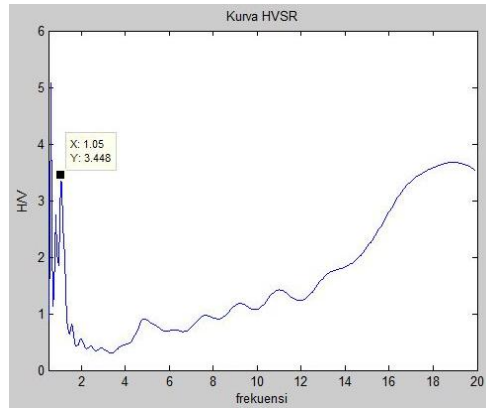
Kriteria Reliable

- i.  $2,35 > 0,5$
- ii.  $945 > 200$
- iii.  $3,2135 < 2$

Kriteria *Clear Peak*

- i.  $8,94117 < 4,505$
- ii.  $1,81036 < 4,505$
- iii.  $9,01 > 2$
- iv. Tidak terpenuhi
- v.  $0,07905 < 0,1175$
- vi.  $3,2135 < 1,58$

### Titik 25



fg= 1,05  
Ag= 3,448

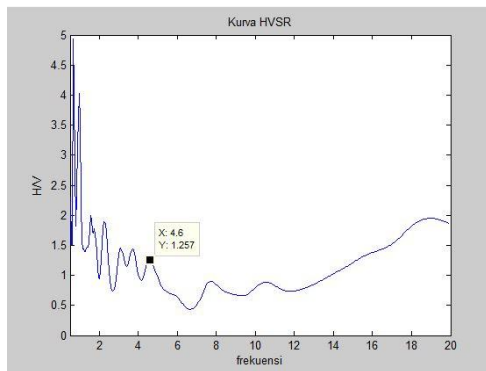
#### Kriteria Reliable

- i. 1,05 > 0,5
- ii. 330,75 > 200
- iii. 1,007358 < 2

#### Kriteria Clear Peak

- i. 2,084033 < 1,724
- ii. 0,637603 < 1,724
- iii. 3,448 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. < 0,7
- vi. 1,007358 < 3

### Titik 26



fg= 1,257  
Ag= 4,6

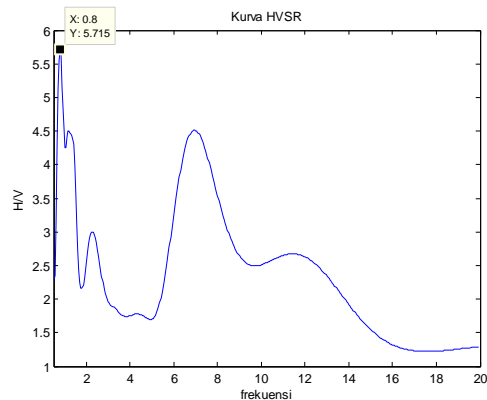
#### Kriteria Reliable

- i. 1,257 > 0,5
- ii. 632,0196 > 200
- iii. 0,90203 < 2

#### Kriteria Clear Peak

- i. 2,440779 < 2,3
- ii. 1,264535 < 2,3
- iii. 4,6 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. < 0,7
- vi. 0,90203 < 3

### Titik 27



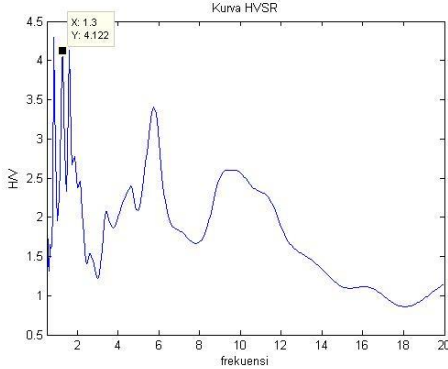
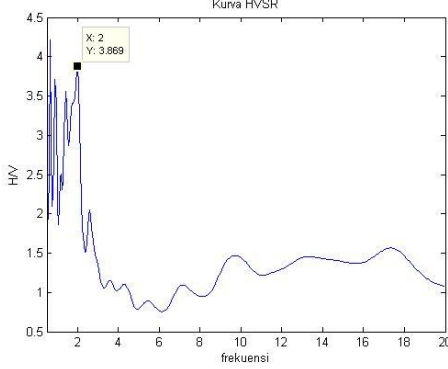
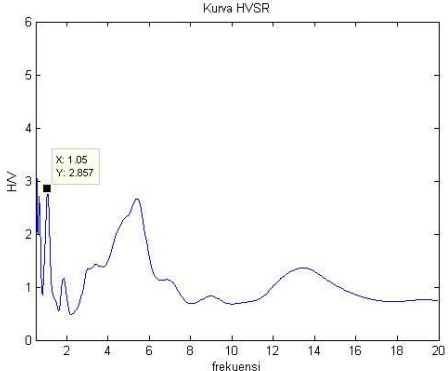
fg = 0,8  
Ag= 5,715

#### Kriteria Reliabel

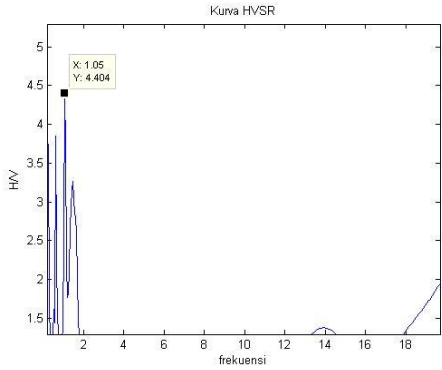
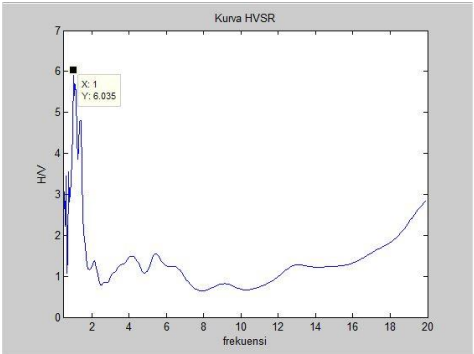
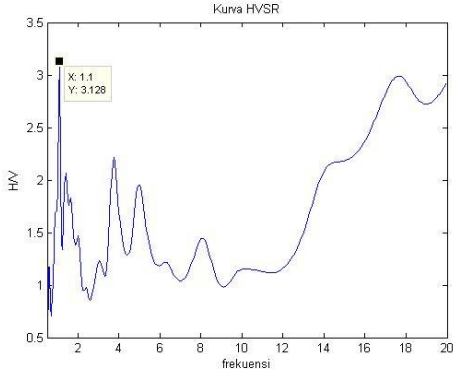
- i. 0,8 > 0,5
- ii. 208 > 200
- iii. 0,98165 < 2

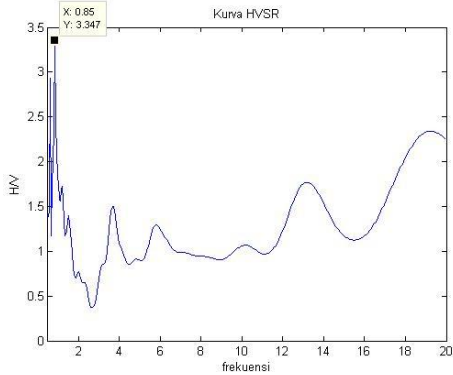
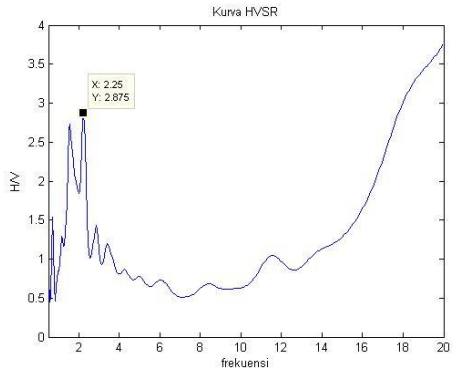
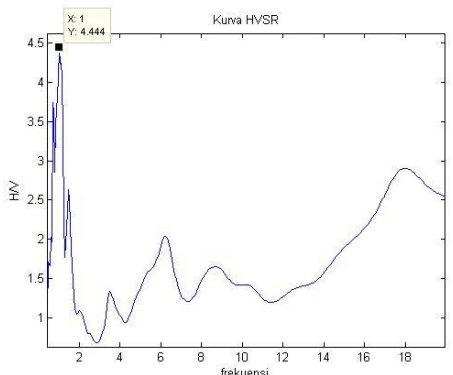
#### Kriteria Clear Peak

- i. 5,682427 < 2,8575
- ii. 3,0934 < 2,8575
- iii. 5,715 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. 0,05 < 0,12
- vi. 0,98165 < 2

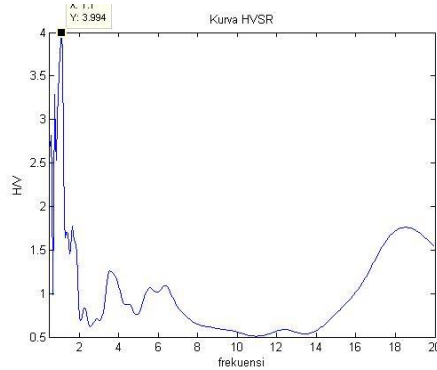
Titik 28	
 <p>Kurva HVSR</p> <p>X: 1.3 Y: 4.122</p>	<p>fg = 1.3 Ag = 4,122</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,3 &gt; 0,5</li> <li>364 &gt; 200</li> <li>0,815 &lt; 2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2,940 &lt; 2,061</li> <li>2,132 &lt; 2,061</li> <li>4,122 &gt; 2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>0,05 &lt; 0,13</li> <li>0,815 &lt; 1,78</li> </ol>
Titik 29	
 <p>Kurva HVSR</p> <p>X: 2 Y: 3.869</p>	<p>fg = 2 Ag = 3,869</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2 &gt; 0,5</li> <li>520 &gt; 200</li> <li>0,922 &lt; 2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2,93 &lt; 1,9345</li> <li>1,1448 &lt; 1,9345</li> <li>3,869 &gt; 2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>0,079 &lt; 0,2</li> <li>0,922 &lt; 1,78</li> </ol>
Titik 30	
 <p>Kurva HVSR</p> <p>X: 1.05 Y: 2.857</p>	<p>fg = 1,05 Ag = 2,857</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,05 &gt; 0,5</li> <li>399 &gt; 200</li> <li>0,7436 &lt; 2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2,265 &lt; 1,4285</li> <li>1,142 &lt; 1,4285</li> <li>2,857 &gt; 2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>0,05 &lt; 0,105</li> <li>0,7436 &lt; 1,78</li> </ol>



Titik 33	
 <p>Kurva HVS</p> <p>Y-axis: H/V (1.5 to 5) X-axis: frekuensi (0 to 18)</p> <p>Peak data: X: 1.05, Y: 4.404</p>	<p>fg= 1,05 Ag= 4,404</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,05&gt;0,5</li> <li>378&gt;200</li> <li>1,038283199&lt;2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,8852515&lt;2,202</li> <li>1,151692&lt;2,202</li> <li>4,404&gt;2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>&lt;0,7</li> <li>1,038283199&lt;3</li> </ol>
Titik 34	
 <p>Kurva HVS</p> <p>Y-axis: H/V (0 to 7) X-axis: frekuensi (0 to 20)</p> <p>Peak data: X: 1, Y: 6.035</p>	<p>fg= 1 Ag= 6,035</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1&gt;0,5</li> <li>300&gt;200</li> <li>1,572378&lt;2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3,19095&lt;3,0175</li> <li>1,794373&lt;3,0175</li> <li>6,035&gt;2</li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li>0,05&lt;0,25</li> <li>1,572378&lt;3</li> </ol>
Titik 35	
 <p>Kurva HVS</p> <p>Y-axis: H/V (0.5 to 3.5) X-axis: frekuensi (0 to 20)</p> <p>Peak data: X: 1.1, Y: 3.128</p>	<p>fg = 1,1 Ag= 3,128</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,1 &gt; 0,5</li> <li>264 &gt; 200</li> <li>0,517 &lt; 2</li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1,6879 &lt; 1,564</li> <li>1,4444 &lt; 1,564</li> <li>3,128 &gt; 2</li> <li>Terpenuhi</li> <li>0,0353 &lt; 0,11</li> <li>0,517 &lt; 1,78</li> </ol>

Titik 36	
 <p>Kurva HVS</p>	<p><math>fg = 0,85</math>  <math>Ag = 3,347</math></p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>0,85 &gt; 0,5</math></li> <li><math>357 &gt; 200</math></li> <li><math>0,595 &lt; 2</math></li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,465 &lt; 1,6735</math></li> <li><math>0,9804 &lt; 1,6735</math></li> <li><math>3,347 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,035 &lt; 0,1275</math></li> <li><math>0,595 &lt; 2</math></li> </ol>
Titik 37	
 <p>Kurva HVS</p>	<p><math>fg = 2,25</math>  <math>Ag = 2,875</math></p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>2,25 &gt; 0,5</math></li> <li><math>1035 &gt; 200</math></li> <li><math>0,606 &lt; 2</math></li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1,6397 &lt; 1,4375</math></li> <li><math>0,8055 &lt; 1,4375</math></li> <li><math>2,875 &gt; 2</math></li> <li>Terpenuhi</li> <li><math>0,0645 &lt; 0,1125</math></li> <li><math>0,606 &lt; 1,58</math></li> </ol>
Titik 41	
 <p>Kurva HVS</p>	<p><math>fg = 1</math>  <math>Ag = 4,444</math></p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>1 &gt; 0,5</math></li> <li><math>440 &gt; 200</math></li> <li><math>1,115 &lt; 2</math></li> </ol> <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>6,457 &lt; 2,222</math></li> <li><math>1,4087 &lt; 2,222</math></li> <li><math>4,444 &gt; 2</math></li> <li>Tidak terpenuhi</li> <li><math>0,05 &lt; 0,1</math></li> <li><math>1,115 &lt; 1,78</math></li> </ol>

### Titik 42



fg = 1,1

Ag= 3,994

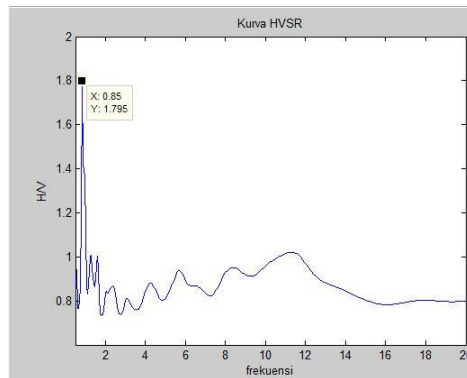
Kriteria Reliabel

- i. 1,1 > 0,5
- ii. 440 > 200
- iii. 1,115 < 2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 2,7698 < 1,997
- ii. 1,1511 < 1,997
- iii. 3,994 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. 0,05 < 0,11
- vi. 1,115 < 1,78

### Titik 43



fg= 0,85

Ag= 1,795

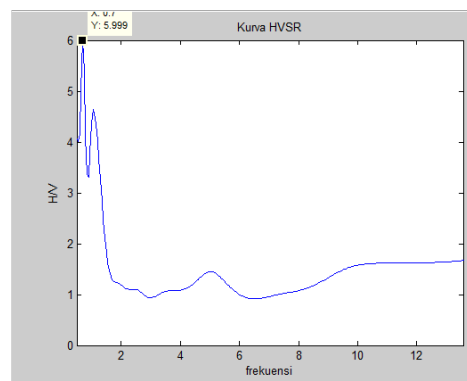
Kriteria Reliable

- i. 0,85 > 0,5
- ii. 274,55 > 200
- iii. 0,300527 < 2

Kriteria *Clear Peak*

- i. 1,158861 < 0,8975
- ii. 0,876364 < 0,8975
- iii. 1,795 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. < 0,7
- vi. 0,300527 < 3

### Titik 44



fg = 0,7

Ag= 5,999

Kriteria Reliabel

- i. 0,7 > 0,5
- ii. 245 > 200
- iii. 0,967685 < 2

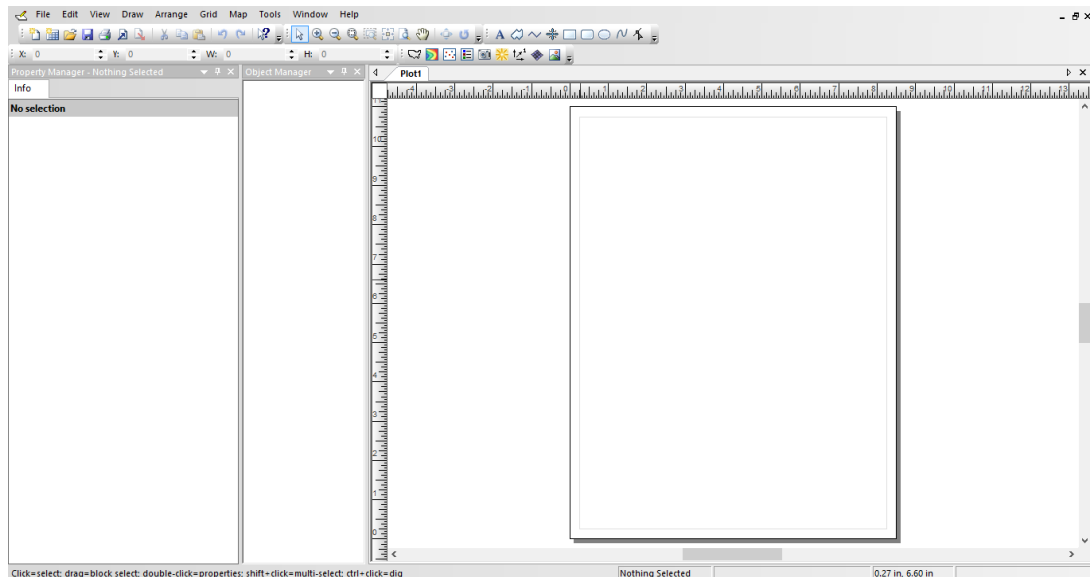
Kriteria *Clear Peak*

- i. 3,846176 < 2,995
- ii. 2,198323 < 2,995
- iii. 5,99 > 2
- iv. Tidak terpenuhi
- v. 0,05 < 0,175
- vi. 0,967685 < 3

## Lampiran 9. Peta Pemodelan

Pemetaan dibuat dengan menggunakan *software Surfer 10*. Sebagai contoh, pemodelan dilakukan terhadap nilai *Ground Shear Strain* (GSS) menggunakan PGA Kanai. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuka *software Surfer 10*, sehingga muncul tampilan sebagai berikut:

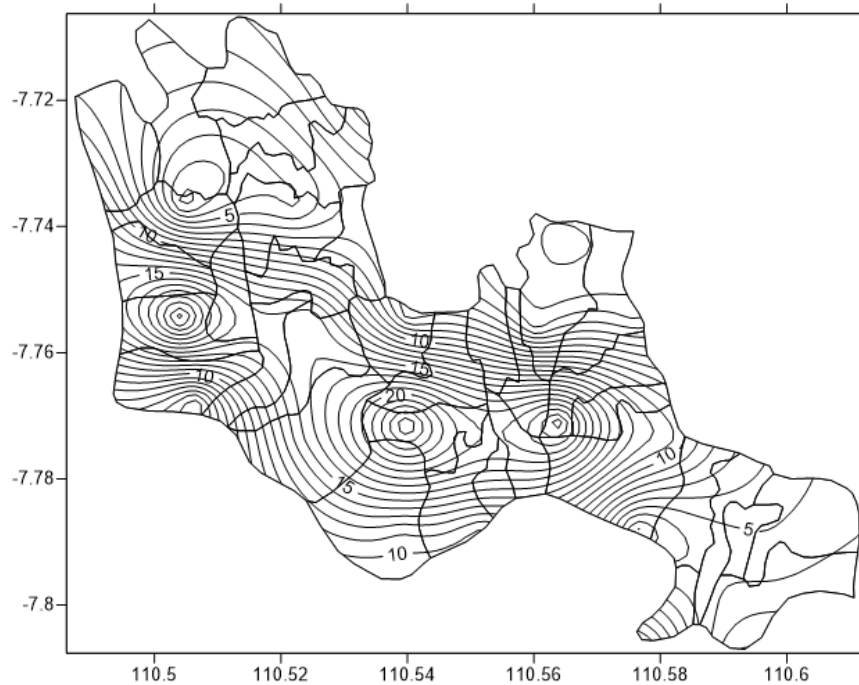


Gambar L17. Tampilan awal software Surfer 10.

2. Simpan data dalam format (.txt) dilakukan dengan cara:
  - a. Pilih *new worksheet* pada *toolbar software*.
  - b. *Copy* nilai GSS dari *Microsoft Excel* ke dalam *Surfer*
  - c. *Save file* dalam bentuk (.txt), seperti ditunjukkan pada Gambar L18.

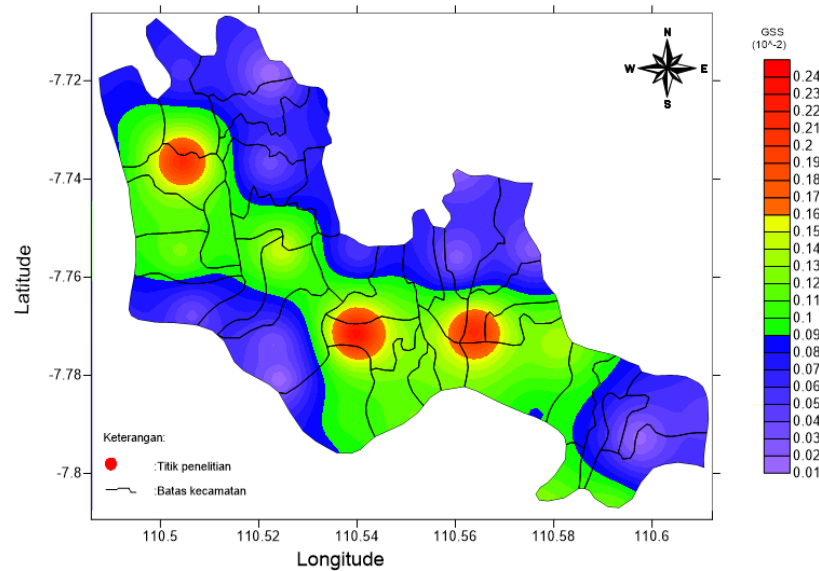


dilakukan dengan mengetik *CTRL + A* pada peta, pilih *Map* pada *toolbar*, klik *Overlay*, Sehingga muncul tampilan sebagai berikut:



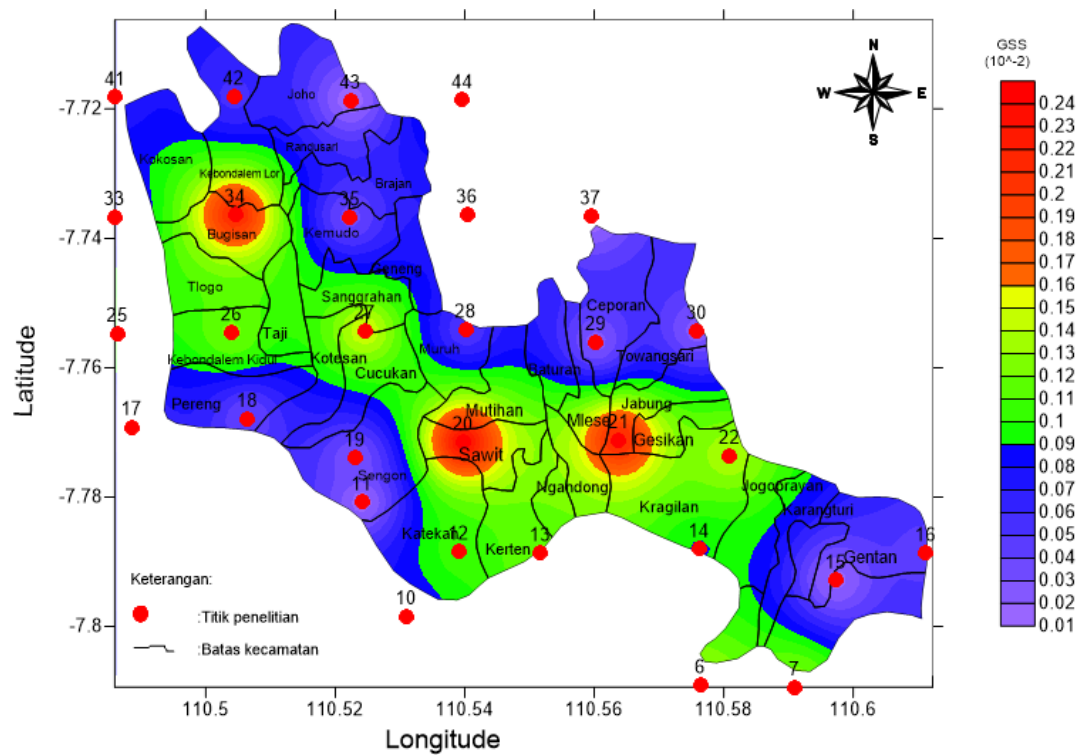
Gambar L19. Tampilan hasil *overlay* data *grid* dengan peta administrasi Kecamatan Gantiwarno dan Kecamatan Prambanan.

5. Untuk memberikan klasifikasi nilai tinggi, rendah dan sedang pada peta mikrozonasi, diwakili dengan pembagian warna yaitu dilakukan dengan cara:
  - a. Klik *Contours* pada *Object Manager*, pilih *General* pada *Property Manager*, klik *Fill Contours* dan *Color Scale*, sehingga skala bisa ditampilkan.
  - b. Pada *Property Manager* pilih *levels*, pilih *Fill Colors*, klik *Rainbow*, sehingga muncul tampilan sebagai berikut:



Gambar L20. Tampilan mikrozonasi setelah diberikan efek warna.

6. Warna merah menunjukkan di lokasi tersebut memiliki nilai GSS yang tinggi, warna kuning menunjukkan nilai GSS sedang dan warna biru menunjukkan nilai GSS rendah.
7. Untuk mengetahui posisi titik penelitian pada peta mikrozonasi maka perlu dilakukan:
  - a. Klik *New Post Map*, pilih data dalam format (.txt) yang terdiri dari titik koordinat dan identitas pada titik penelitian, *Open*.
  - b. Overlay peta terlebih dahulu dan mengubah simbol pada *Property Manager* serta memberikan keterangan identitas pada setiap titik penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar L21.



Gambar L21. Tampilan hasil mikrozonasi nilai GSS di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.



## Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian.



